

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE APOYO PARA LA TOMA DE
DECISIONES EN EL PROCESO DE PLANEACIÓN DE LA OFERTA**

JUAN SEBASTIAN MONTOYA AGUDELO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en
Ingeniería**

Asesor: Carlos Alberto Castro Zuluaga

**MEDELLÍN
UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
2016**

A mi padre, Juan Diego Montoya Ramirez, principal referente en mi vida por su infinito valor, constancia y compromiso.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mi profesor asesor Carlos Alberto Castro Zuluaga quien me ha acompañado constantemente en el desarrollo del presente trabajo de investigación y cuyos consejos y conocimientos se han convertido en pilar fundamental de mi proceso.

De igual forma agradezco al profesor Guillermo León Carmona Gonzales quien en mi formación temprana como profesional ha sabido incentivar mi espíritu investigativo lo que ha facilitado de manera significativa la realización del presente trabajo.

También deseo agradecer a la Universidad EAFIT por favorecer el desarrollo de mi trabajo investigativo mediante la disposición de los recursos necesarios para poder adquirir los conocimientos sobre los cuales se basa el presente trabajo de grado.

Así mismo agradezco a Diana Uribe y Ricardo Monsalve quienes gracias a su amplia experiencia profesional en la planeación de ventas y operaciones han sabido guiar mi trabajo en momentos donde los conocimientos prácticos se hacían necesarios.

Por último debo agradecer a Sara Camila Botero, Daniela Molina y Laura Restrepo quienes mediante su labor como monitoras me ayudaron significativamente en la creación de algunos contenidos que hacen parte de este trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	8
2	DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
3	OBJETIVOS	12
3.1	OBJETIVO GENERAL	12
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4	ESTADO DEL ARTE	13
5	MARCO TEÓRICO.....	18
5.1	CICLO DE LA PLANEACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES	18
5.2	ESTRATEGIAS UTILIZADAS EN LA PLANEACIÓN DE LA OFERTA	19
5.3	PLANEACIÓN AGREGADA	20
5.4	TÉCNICAS PARA RESOLVER PROBLEMAS DE PLANEACIÓN AGREGADA.....	21
5.5	ESTRUCTURA DE UN DSS.....	23
5.6	CLASIFICACIÓN DE LOS DSS	23
6	METODOLOGÍA.....	25
7	SISTEMA DE APOYO DE DECISIONES PARA EL PROCESO DE LA PLANEACIÓN DE LA OFERTA	27
7.1	ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN DE LA ETAPA DE PLANEACIÓN DE LA OFERTA	27
7.2	CARACTERIZACIÓN DE SOFTWARES COMERCIALES EXISTENTES ...	29
7.3	DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL DSS	32

7.4	ESTRUCTURA DEL DSS	34
7.4.1	Descripción del sistema	34
7.4.2	Modelo de programación lineal.....	36
7.4.3	Proceso de generación del plan.	39
7.4.4	Herramientas de análisis a posteriori	49
8	CONCLUSIONES	55
9	TRABAJOS FUTUROS	57
10	BIBLIOGRAFÍA	59
11	ANEXOS.....	63
11.1	ANEXO 1: ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN DE LA PLANEACIÓN DE OFERTA	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de madurez de Lapide (2004).	14
Figura 2: Subprocesos del proceso de S&OP.....	15
Figura 3: Ciclo mensual del S&OP (Wallace, 2006)	18
Figura 4: Entorno de la planeación agregada (Chase & Jacobs, 2013).	21
Figura 5: Archivos de demandas.....	40
Figura 6: Formulario de costos	40
Figura 7: Formulario de Producción y condiciones iniciales.....	41
Figura 8: Archivos de costos y parámetros.....	41
Figura 9: Parametrización del escenario 1	42
Figura 10: Parametrización del escenario 2	43
Figura 11: Ventana de Selección del Plan	44
Figura 12: Indicadores totalizados por escenario	45
Figura 13: Gráfico de Costos Totales por periodo, por escenario	46
Figura 14: Selección de escenario como plan del periodo en curso.	47
Figura 15: Plan seleccionado.....	48
Figura 16: Opciones para la vista de detalles de los escenarios.....	49
Figura 17: Opción de carga de datos reales.	50
Figura 18: Opción de desviación de los planes.	51
Figura 19: Opción de desempeño real.....	52
Figura 20: Opción de datos históricos.....	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Calificación de las propiedades de las herramientas utilizadas en la planeación de la oferta	28
Tabla 2: Calificación de las propiedades de una nueva herramienta para la planeación de la oferta	29
Tabla 3: Softwares comerciales utilizados en la industria	31
Tabla 4 Especificaciones del DSS propuesto	32
Tabla 5: Parámetros de producción y condiciones iniciales.	34
Tabla 6: Costos	35
Tabla 7: Pronóstico de demanda	35

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas de producción de bienes se enfrentan a un mercado global en donde los clientes esperan tener sus productos en la cantidad y en el momento que lo soliciten, a un costo adecuado. Es por esto que la capacidad que las compañías tengan de amoldar sus modelos productivos de acuerdo a la tendencia de la demanda, se ha convertido en factor clave para lograr una ventaja competitiva en términos de eficiencia y/o tiempo de respuesta.

Como solución a esta situación surge en los años 80 el proceso de planeación de ventas y operaciones el cual busca a través de la integración de mercadeo y ventas, operaciones y finanzas, la generación de planes operativos para suplir la demanda pronosticada en un horizonte mediano de tiempo, considerando que estos sean factibles financieramente.

Para una implementación exitosa del proceso de planeación de ventas y operaciones, se requiere fundamentalmente que éste sea liderado por la alta gerencia y estar soportado principalmente por los tres elementos que según Wallace (2010) son claves en la ejecución del proceso: El talento humano, los procesos de toma de decisiones y el sistema de información. En relación al proceso de toma de decisiones, es indispensable contar con herramientas que procesen la información empresarial de una manera precisa y confiable, con el fin de facilitar la generación de planes de demanda y de oferta que se ajusten al plan de negocio de la Compañía.

Se ha podido constatar que la mayoría de las herramientas informáticas comerciales se enfocan principalmente en apoyar la etapa de planeación de la demanda, mediante la elaboración de pronósticos y en la agregación y desagregación de los artículos en familias de productos. Por su parte, las herramientas dedicadas al proceso de planeación de la oferta se concentran principalmente en la determinación de cantidades de artículos y los tiempos en los que estos deben ser adquiridos para dar cumplimiento al plan de demanda, dejando a un lado la importante tarea de definir cómo se van a disponer los recursos en función de la adquisición de dichos productos y con eficiencia en los costos.

El presente trabajo de grado presenta el desarrollo de SUPPLA-DSS, como un sistema de apoyo para la toma de decisiones en el proceso de planeación de la oferta, el cual está construido como

un complemento de Excel, que permite la elaboración de un plan basado en el análisis de hasta 5 escenarios parametrizables generados por medio de un modelo de programación lineal. El sistema permite realizar análisis de tipo “y si...” de una manera simple y rápida gracias a la incorporación de una interfaz gráfica basada en el ambiente propio de Excel®.

2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Desde su creación, el proceso de planeación de ventas y operaciones (en adelante S&OP por sus siglas en inglés) ha mostrado ser de gran utilidad a nivel industrial, ya que a través de la aplicación de éste las empresas han logrado satisfacer la demanda de los clientes de una manera más eficiente en costos (Bower, 2006).

Por su importancia, la comunidad científica se ha concentrado en desarrollar métodos para implementar el S&OP de una mejor manera. Entre estos esfuerzos, las herramientas informáticas han jugado un papel preponderante debido a que sobre ellas y su interacción con el recurso humano es que se apoya todo el proceso (Grimson & Pyke, 2007; Ivert & Jonsson, 2010).

Sin embargo gran parte de las herramientas desarrolladas para el proceso de S&OP se han creado principalmente para apoyar los pronósticos de la demanda, la planeación financiera y los requerimientos de materiales, pero en la etapa de planeación de la oferta del S&OP, se ha podido constatar que existe una brecha entre las herramientas computacionales y el apoyo que estas dan a la misma. Las hojas de cálculo planas se han convertido en la herramienta comúnmente utilizada para el apoyo de esta etapa, lo cual puede ser el primer acercamiento a la adopción del S&OP como proceso de negocio. Sin embargo a medida que aumenta el conocimiento, la complejidad y la madurez del proceso, las empresas comienzan a demandar funcionalidades adicionales a las proporcionadas por las hojas de cálculo planas, por lo que es necesario optar por otras herramientas tecnológicas (Grimson & Pyke, 2007).

La industria ha buscado, de manera equivocada, atender la necesidad de tener mejores herramientas tecnológicas con la incorporación de softwares transaccionales y de trazabilidad del tipo ERP o MRP (Gutiérrez & Rodríguez, 2008), esperando con ello lograr una implementación exitosa del S&OP al interior de las organizaciones. No obstante Wallace (2010) concluye que por encima de la adquisición de un software, es más importante el mejoramiento de la educación del personal y la forma en que este toma decisiones basado en los datos almacenados en los sistemas de información. Es por esto que en el presente trabajo de grado se muestra el desarrollo de un sistema de apoyo para la toma de decisiones para la planeación de la oferta en el S&OP como un

instrumento para que aquellos encargados de tomar éste tipo de decisiones tácticas, estén en capacidad de gestionar la información disponible, para así generar planes que permitan satisfacer la demanda (plan de ventas) considerando los objetivos trazados en la planeación estratégica del negocio. Además de poder utilizar la herramienta en empresas medianas o pequeñas, se pretende que también pueda ser incorporada como ayuda pedagógica para la formación de futuros profesionales o de aquellos responsables de la implementación y ejecución de la etapa de planeación de la oferta del S&OP en las organizaciones.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una herramienta para el apoyo de la toma de decisiones en la etapa de planeación de la oferta del proceso de planeación de ventas y operaciones.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la revisión de literatura sobre el proceso de planeación de Ventas y operaciones.
- Realizar la revisión de la literatura de la etapa de planeación de la oferta en el proceso de ventas y operaciones.
- Identificar y caracterizar algunos softwares comerciales dedicados a la planeación de la oferta.
- Identificar mediante una encuesta la situación actual de la planeación de la oferta en algunas empresas del Valle de Aburrá.
- Construcción de un sistema para el apoyo de la toma de decisiones basado en las especificaciones identificadas en la revisión del estado del arte, la revisión de algunos softwares comerciales y la encuesta realizada.

4 ESTADO DEL ARTE

El proceso de S&OP está definido en la novena edición del diccionario de APICS como “el proceso que provee a la administración la habilidad de dirigir estratégicamente su negocio, con el fin de alcanzar continuamente una ventaja competitiva, basándose en la integración de los planes de mercadeo centrados en el cliente para productos nuevos y existentes, con la administración de la cadena de abastecimiento de la Compañía”(Palmatier & Colleen, 2003).

El S&OP fue creado a principios de los 80 como una de las principales herramientas para la administración de la cadena de abastecimiento. Gracias a esta los ejecutivos han podido obtener una visión más completa de su negocio integrando la alta gerencia, las áreas de mercadeo y ventas, finanzas y operaciones con una visión de horizonte mediano de tiempo (Tuomikangas & Kaipia, 2014). La principal ventaja de esta integración, es que el proceso genera planes que están alineados con el plan de negocio y las políticas a nivel estratégico de la Compañía.

Con el S&OP las organizaciones buscan sincronizar sus niveles de producción con el ritmo de demanda generado por sus clientes. Aquellas organizaciones que han implementado el S&OP reconocen en este como su principal ventaja la capacidad que les otorga para anticiparse a los niveles de venta en periodos futuros (Bower, 2006; T. Wallace, 2004).

A pesar de las investigaciones realizadas en torno al proceso de S&OP los autores no han llegado a un consenso general de cómo debe ser implementado al interior de la organización, esto porque han encontrado que las condiciones al interior de las empresas son tan particularmente distintas que hacen imposible la adopción de un modelo general para el proceso.

En respuesta a esto diversos autores se han concentrado en generar lo que se ha llamado modelos de madurez y con base en ellos definir las características de S&OP para cada una de las etapas del modelo (Grimson & Pyke, 2007; Lapide, 2004, 2005; Tavares Thomé, Scavarda, Fernandez, & Scavarda, 2012). Un modelo de madurez consiste en una “secuencia múltiple y evolucionaria de etapas que representan lo avanzado que está un proceso de negocio”(Lapide, 2004). Las diversas propuestas de los autores se han desarrollado de acuerdo a las condiciones de los recursos

humanos, los procesos y las herramientas informáticas participantes en el proceso de S&OP (Tavares Thomé et al., 2012).

Los autores coinciden que conforme se avanza en las etapas de los modelos de madurez, las herramientas informáticas cobran mayor importancia y por ende han de ser más robustas (Tuomikangas & Kaipia, 2014). Debido a su alto nivel de referenciación en la literatura actual para este trabajo de grado se adopta el modelo de Lapide (2004) representado en la Figura 1 como referencia para su desarrollo.

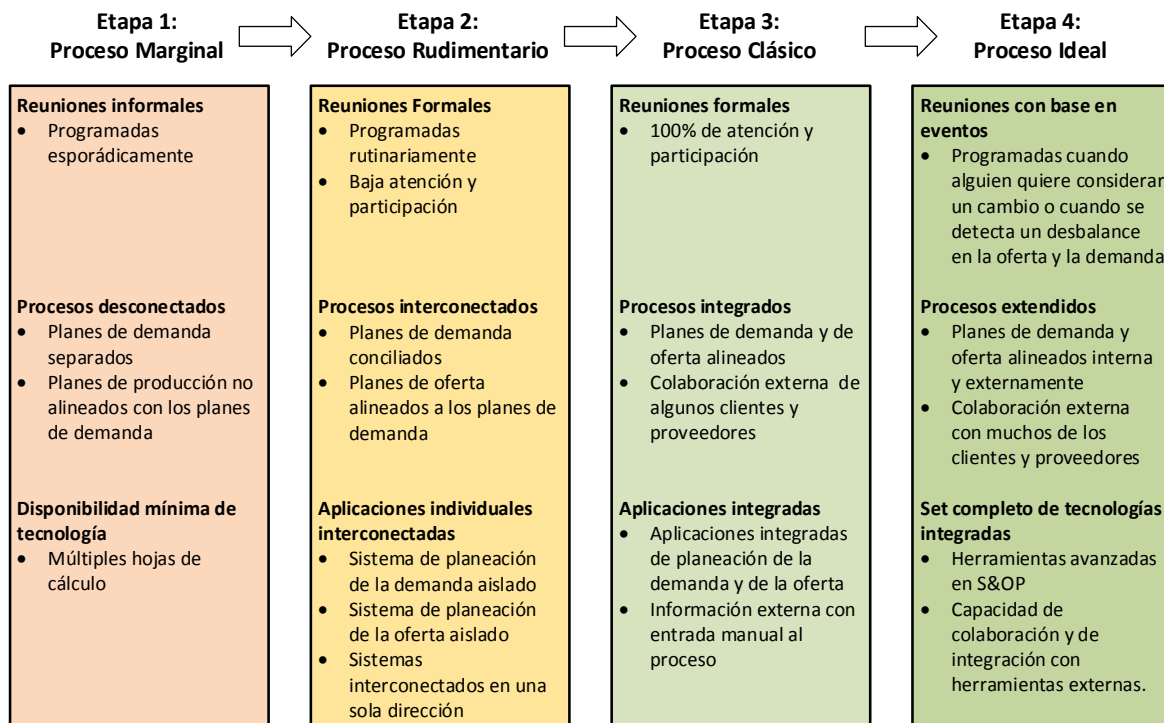


Figura 1: Modelo de madurez de Lapide (2004).

El proceso de S&OP puede ser dividido en tres subprocessos principales como se ve en la Figura 2. El primero de ellos es la planeación de la demanda, el segundo es el de la planeación de la oferta y finalmente está el proceso de planeación financiera que se encarga de integrar los dos procesos anteriores con el plan de negocio. El presente trabajo de grado se enfoca en el segundo de los subprocessos antes mencionado, el cual se resalta en la parte derecha de la Figura 2.

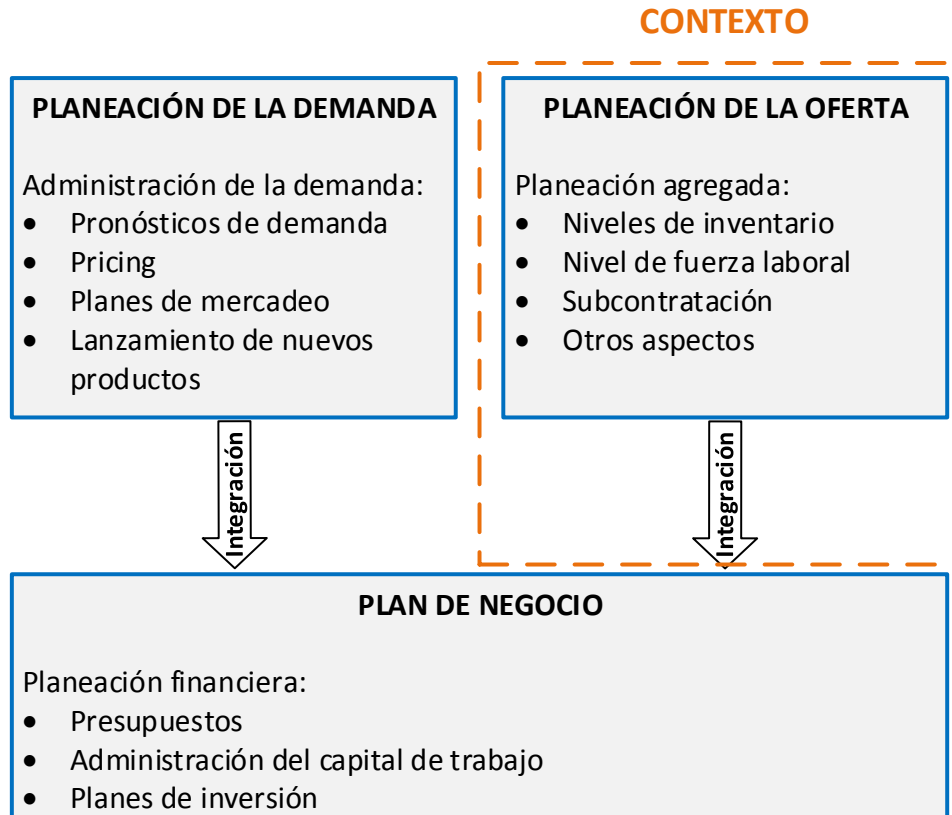


Figura 2: Subprocesos del proceso de S&OP

La herramienta utilizada para la realización del plan de oferta en el proceso de S&OP es la planeación agregada, cuyos orígenes se remontan a la década de 1950 en el trabajo de Modigliani, Muth y Simon (Singhal & Singhal, 2007).

A través de los años, los trabajos científicos sobre la planeación agregada han incorporado técnicas de matemáticas, estadística y hasta lógica difusa (Madadi & Wong, 2013) lo cual ha enriquecido la variedad de herramientas disponibles y el impacto que ha generado en la industria.

Se ha logrado evidenciar que existe un amplio universo de trabajos sobre la planeación agregada, en los que se desarrollan diferentes técnicas para resolver problemas que varían en complejidad y objeto de estudio. Gran parte de estos trabajos hacen referencia a Nam y Logerdrum (1992) y a Pan (1995) como fuentes principales de la taxonomía de la planeación agregada (Buxey, 2005; Gasim, 2011; Gomes da Silva, Figueira, Lisboa, & Barman, 2006; Lisboa, Gomes, & Yasin, 2012).

Nam y Logerdrum (1992) en su trabajo se concentran en la clasificación y descripción de las técnicas usadas para el desarrollo del problema de la planeación agregada. Posteriormente Pan y

Kleiner(1995) complementan la clasificación de las técnicas y suman a esto la enumeración de especificaciones de las herramientas utilizadas.

Por su parte, los sistemas de apoyo para la toma de decisiones (en adelante DSS por sus siglas en inglés) nacen a mediados de los 60 en un esfuerzo de la comunidad científica por incorporar los métodos numéricos computarizados en las decisiones de negocio (Power, 2008).

El término DSS fue utilizado por primera vez por Morton (1971) y fue definido como un sistema que mediante la integración de la computación y modelos matemáticos ayuda a la toma de decisiones estructurada o semi-estructuradas al interior de una organización.

Posteriormente Alter (1980, 1986) mediante el análisis de 56 DSS que para la fecha existían, procedió a clasificar los DSS basado en el grado de implicación de los resultados obtenidos mediante la aplicación de los mismos. Con su trabajo el autor diferenciaba los DSS de los recién creados sistemas de manejo electrónico de datos (ERP, MRP, WMS, entre otros) y sentaba las bases conceptuales en las cuales se apoyarían gran parte de las investigaciones futuras.

Durante los años siguientes se hicieron grandes avances en la tecnología de la computación. Sumado a ello se desarrollaron nuevas metodologías heurísticas y de optimización que enriquecieron de forma considerable el universo de los DSS. Debido a esto una nueva taxonomía de los DSS se hacía necesaria y es cuando surge la propuesta de Arnott y Pevan (2005, 2014), en la que además de reclasificar los DSS, se establece el estado del arte de cada subgrupo y se hacen propuestas sobre la manera como deberían ser focalizadas las futuras investigaciones. Esta clasificación ha sido ampliamente aceptada como referente para el desarrollo de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones, por lo que será adoptada para la realización del DSS del presente trabajo.

A pesar de que la planeación agregada ha sido ampliamente desarrollada en trabajos de investigación, han sido pocos los que han incorporado una estructura formal de DSS como herramienta para la solución de problemas en la industria. Tras una revisión de la literatura y utilizando los criterios de búsqueda “Aggregate Planning”, “Supply Planning” y “Decision support system” se evidenciaron ejemplos formalmente estructurados como DSS en el caso de Gomes, Figueira, Lisboa y Barman (2006) en el cual emplean un DSS que aborda el problema de la planeación agregada de una empresa portuguesa de materiales para la construcción mediante el uso de programación lineal entera mixta de múltiples criterios y el de Sillekens, Koberstein y Suhl

(2011) en donde se aborda la planeación agregada de una línea ensambladora de vehículos mediante un DSS que incorpora programación lineal entera mixta. Con el fin de buscar otros posibles casos de DSS, se relajaron los criterios de búsqueda mediante los términos “Aggregate planning”, “Information tools” y “Computer tools” sin lograr obtener trabajos que puedan ser considerados formalmente como DSS. En su lugar se encontraron artículos donde se proponen la solución del problema de planeación agregada mediante el uso de hojas de cálculo planas sin interfaz gráfica ni subsistemas de manejo de modelo base (Penlesky & Srivastava, 1994; Shafer, 1991), modelos de optimización sin subsistemas de manejos de datos (Danh, 2014; Techawiboonwong & Yenradee, 2002) y sistemas con técnicas complejas sin interfaz gráfica los cuales requieren de usuarios con conocimientos en la manipulación de lenguajes de programación para la adecuación de los modelos a sus necesidades industriales (Phruksaphanrat, Ohsato, & Yenradee, 2011; Wang & Liang, 2004).

A diferencia de los ejemplos anteriormente citados, el presente trabajo no se adapta a una industria en particular, por lo contrario ofrece un modelo sencillo y fácil de implementar independiente a las particularidades de la industria que lo haga. Con él se busca potenciar las habilidades de aquellos encargados de tomar las decisiones con el fin de generar planes que agreguen valor al proceso de planeación de la oferta ejecutado al interior de la organización.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 CICLO DE LA PLANEACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES

Según Wallace (2006) y Stahl (2010) el proceso de S&OP se realiza a nivel de familia de productos y en un ciclo mensual (aunque el periodo de tiempo puede variar según la industria) de 5 pasos, el cual se muestra en la Figura 3:

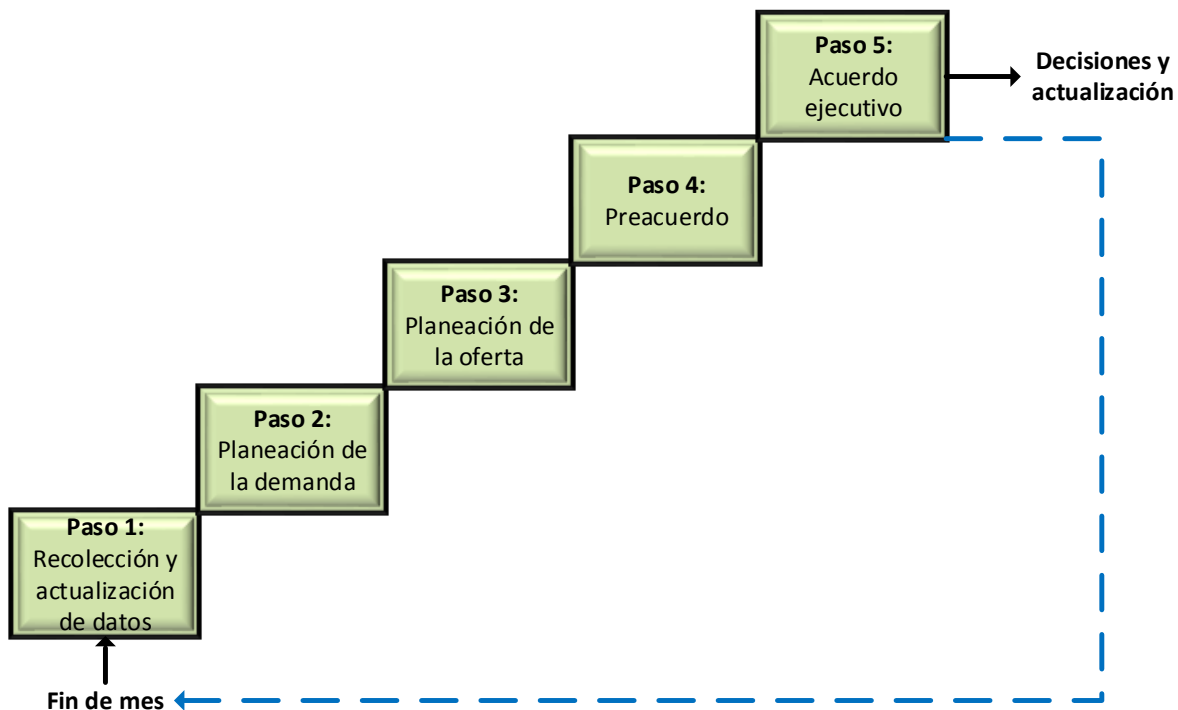


Figura 3: Ciclo mensual del S&OP (Wallace, 2006)

- **Recolección y actualización de datos:** Recolección de los resultados actuales y generación de los pronósticos de demanda.
- **Fase de planeación de la demanda:** Actualización del pronóstico, requerimientos de nuevos productos y generación del plan de ventas aprobado por el ejecutivo del área. Esta fase es responsabilidad del área de ventas y mercadeo en colaboración con las áreas de desarrollo de nuevos productos y la financiera.

- **Fase de planeación de la oferta:** La generación de un plan de producción que refleje los cambios en el pronóstico de ventas y de inventario y la identificación de restricciones de capacidad. La responsable de ésta fase es el área de operaciones en colaboración el área financiera y la de desarrollo de nuevos productos.
- **El preacuerdo:** Consiste en la reconciliación entre el plan de demanda y el plan de oferta, la definición de posibles escenarios y alternativas. Los responsables de esta fase son los jefes de las áreas anteriormente citadas.
- **El acuerdo ejecutivo:** Se definen soluciones a situaciones a las que no se haya llegado en la fase anterior y se verifica si el plan está alineado con las políticas de la compañía. Los responsables de esta fase son los miembros de la alta gerencia en la organización.

Durante la ejecución de este ciclo es normal que se generen devoluciones a pasos anteriores conforme sean solicitadas revisiones a los planes generados a lo largo del ciclo.

El presente proyecto se enfoca en el paso 3 del ciclo anteriormente descrito y por ende se abordará como parte del marco teórico en los siguientes apartados.

5.2 ESTRATEGIAS UTILIZADAS EN LA PLANEACIÓN DE LA OFERTA

Para la toma de decisiones Chopra y Meindl (2013) establecen tres estrategias de planeación, sin embargo en la práctica las estrategias utilizadas por los planeadores la mayoría de las veces es una combinación de estas:

- **Estrategia de persecución:** Esta utiliza la capacidad como palanca. En ella la tasa de producción varía conforme cambia la tasa de demanda mediante la contratación y despido de trabajadores o la activación o desactivación de maquinaria. Para que esta estrategia sea atractiva para la empresa, la variación de capacidad debe ser fácil de ejecutar en un periodo corto de tiempo, sin embargo su impacto negativo en la moral de la fuerza laboral puede ser alto. Esta estrategia se usa cuando los costos de mantener inventario son altos y los costos de cambio de capacidad son bajos.
- **Estrategia de flexibilidad:** Esta estrategia emplea la utilización como palanca y se usa en empresas donde la capacidad instalada excede la capacidad necesaria para cubrir la demanda. A diferencia de la anterior estrategia, esta no varía la fuerza laboral sino el tiempo laborado por la misma por lo que se reduce el impacto negativo en la moral de los

empleados. Esta estrategia se utiliza cuando los costos de mantener inventarios son altos y los costos asociados a la capacidad instalada son bajos.

- **Estrategia de nivelación:** Esta estrategia utiliza el inventario como palanca y a diferencia de las dos estrategias anteriores, la cantidad de trabajadores y el tiempo de producción no fluctúa en el transcurso de los periodos. En una estrategia de nivelación se acumulan inventarios para demandas futuras o los pedidos pendientes se transfieren de los periodos de demanda alta a los de demanda baja. Con esta estrategia se puede incurrir en sobrecostos por exceso de inventario o por faltantes y/o ventas perdidas, por eso la estrategia es conveniente cuando dichos costos sean relativamente bajos.

5.3 PLANEACIÓN AGREGADA

La planeación agregada se hace por familias de productos y es un proceso donde se planifica la capacidad a mediano plazo, su meta es definir el plan de producción que permita satisfacer la demanda de los clientes con una utilización eficiente de los recursos (Castro, 2008).

El problema de la planeación agregada se puede formular de la siguiente forma según Chopra y Meindl (2013): “Dado el pronóstico de la demanda para cada uno de los periodos en el horizonte de planeación, determinar los niveles de producción, inventario y capacidad (interna y externa) para cada periodo que maximicen las utilidades de la empresa durante el horizonte de planeación”.

El entorno de la planeación agregada está constituido por factores internos y externos a la empresa como se ve en la Figura 4, y a pesar de que los planeadores no tengan control directo sobre los factores externos, también hacen parte de los factores que afectarán la generación su plan agregado (Chase & Jacobs, 2013).

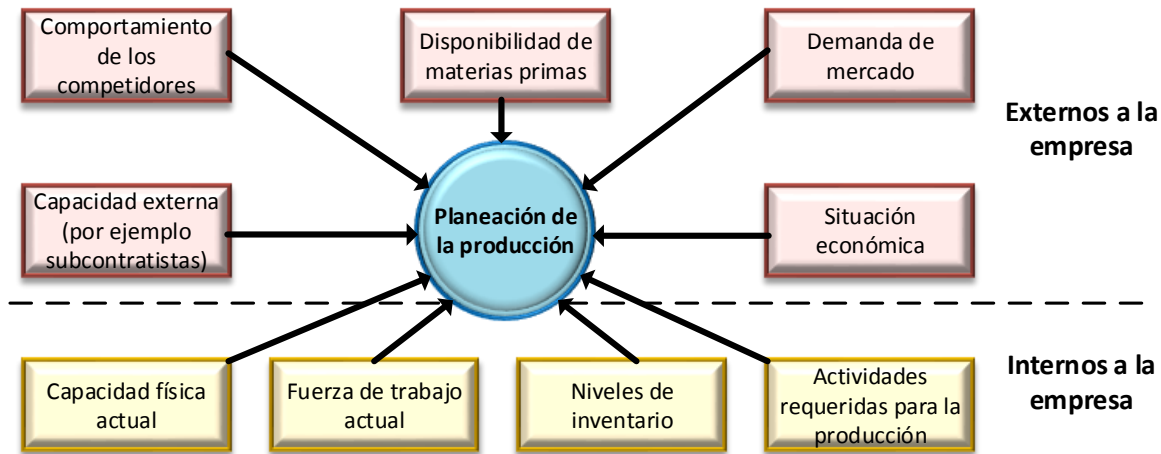


Figura 4: Entorno de la planeación agregada (Chase & Jacobs, 2013).

Partiendo de la información relevante presente en este entorno, el planeador deberá ser capaz de tomar decisiones frente a los siguientes aspectos en el horizonte de planeación:

- **Administración de la capacidad:** Cantidad de unidades a producir en tiempo regular y en tiempo extra. Con ello se podrá determinar el número de trabajadores, los niveles de compra a proveedores y la cantidad de unidades a subcontratar.
- **Inventario a mantener:** Con ello se podrá definir el espacio de almacén y el capital de trabajo requerido.
- **Cantidad de pendientes/desabasto:** Utilizado para medir los niveles de servicio al cliente.
- **Fuerza laboral contratada/despuesta:** Utilizada para determinar posibles dificultades laborales que se enfrentarán como problemas sindicales o curvas de aprendizaje y la implementación de diferentes modalidades de contratación.

5.4 TÉCNICAS PARA RESOLVER PROBLEMAS DE PLANEACIÓN AGREGADA

Existen diversas técnicas para la resolución de problemas de planeación agregada desde los métodos apoyados en gráficos, hasta los modelos matemáticos más complejos. La elección de uno u otro depende del grado de experticia de quien toma las decisiones y el grado de representación de la realidad que se desea. Según Pan y Kleiner (1995) estas técnicas se pueden dividir en 6 grandes grupos:

- **Técnicas informales:** Consiste en el análisis de hojas de cálculo que comparan la demanda pronosticada con la capacidad de la empresa para así definir alternativas de planes que serán evaluados desde el punto de vista de los costos.
- **Programación lineal y sus extensiones:** Esta técnica consiste en la definición de variables de decisión que minimizan los costos relevantes y que están sometidas a restricciones lineales. Una de sus principales desventajas es que no considera la incertidumbre propia del pronóstico de demanda. Por otro lado ofrece la ventaja del modelo dual que permite identificar sobre cuales variables se puede intervenir para el desarrollo de un mejor plan.
- **Reglas lineales de decisión:** Se emplea cuando los costos pueden ser aproximados a funciones lineales llamadas reglas de decisión. El objetivo de esta técnica es derivar estas reglas de decisión generando así un óptimo para el plan agregado. Sus principales desventajas son que no reflejan los costos asociados a un cambio de capacidad o de nivel de producción los cuales dependen de un punto de partida y que no facilitan la inclusión de restricciones en los niveles de producción y de inventarios.
- **Heurísticos y simulación:** Son aquellos métodos que ayudan a los usuarios a aprender de sus propias experiencias y facilitan el desarrollo de procedimientos iterativos mediante los cuales los problemas de planeación pueden ser resueltos satisfactoriamente.
- **Coefficientes administrativos:** Esta técnica asume que en el pasado la administración ha tomado decisiones correctas y con base en ello se estiman los coeficientes de unas reglas de decisión. Es un método intuitivo y fácil de implementar para la administración, sin embargo dentro de sus desventajas se encuentran la subjetividad en la selección de las reglas de decisión y que al basarse en la actividad pasada asumiéndola como una etapa de correcta gestión, puede hacer que la administración vea como inconvenientes los cambios realizados con el fin de mejorar los nuevos planes en la empresa.
- **Procedimientos de búsqueda de simulación:** Esta técnica consiste en el desarrollo de un modelo que representa de forma cercana a la realidad los costos y las restricciones propias del problema, en ella se realizan varias ejecuciones del modelo a manera de ensayo y error hasta que no se obtiene una mejoría en los costos relevantes para definir como plan la última instancia ejecutada.

El DSS desarrollado en este trabajo utiliza la técnica de programación lineal para la generación de los planes debido a que se adapta a un modelo general que no obedece a las particularidades de un

tipo de industria y además su ejecución no requiere de software especializado para ello. La manera en cómo esta fue incluida en el DSS se explica con detalle más adelante en la sección 7.4.2.

5.5 ESTRUCTURA DE UN DSS

Según el trabajo adelantado por Sprague (1980) todo DSS debe contar con tres subsistemas básicos para ser considerado como tal:

- **Gestor de base de datos:** Es el encargado de extraer la información necesaria ya sea de una fuente interna o externa a la Empresa y debe permitir la adición y actualización de datos de manera rápida y fácil.
- **Gestor del modelo base:** Es el encargado de procesar los datos con el fin de generar la información necesaria para el apoyo de una decisión. Entre más flexibilidad otorgue el modelo mejor será considerado el subsistema ya que permitirá procesar más particularidades de cada situación y podrá ser empleado en diferentes niveles de decisión.
- **Gestor de la interfaz con el usuario:** Es el subsistema por medio del cual el usuario se comunica con el DSS. Se considera como una interfaz ideal si la facilidad en la interacción con él no depende de sus conocimientos en el manejo del dispositivo desde el cual se ejecuta el DSS.

En la elaboración del DSS para la planeación de la oferta se utiliza la comunicación con archivos de texto .txt como mecanismo de extracción de información, Open Solver como gestor de modelo base y Excel® como gestor de la interfaz con el usuario. Estos subsistemas serán explicados en detalle en la sección 7.4 donde se desarrolla y muestra el funcionamiento del DSS propuesto a través de la solución de una instancia.

5.6 CLASIFICACIÓN DE LOS DSS

A pesar de que los DSS en esencia siempre tienen los tres subsistemas descritos en la sección anterior, estos pueden ser clasificados en los siguientes subgrupos de acuerdo a su utilización y la manera en como procesan la información (Arnott & Pervan, 2005):

- **Sistemas personales de apoyo para la toma de decisiones:** Usualmente son de pequeña escala y son desarrollados para administrativos o para un pequeño grupo de administradores independientes en función de apoyar una tarea de decisión.

- **Sistemas de apoyo de grupos:** Estos DSS son utilizados por un conjunto de personas de áreas diferentes que comparten responsabilidad sobre una misma decisión. Además de realizar el procesamiento de información sobre la cual se tomará la decisión, los sistemas de apoyos de grupos incluyen herramientas de análisis de datos, presentación de reportes grupales y demás tareas que facilitan la comunicación entre los integrantes del grupo.
- **Sistemas para el apoyo de negociaciones:** Estos DSS buscan apoyar la solución de problemas en los cuales hay intereses de grupos contrarios entre sí.
- **Sistemas inteligentes de apoyo para la toma de decisiones:** También llamados DSS basados en el conocimiento, son aquellos en los que se emplean técnicas de inteligencia artificial como algoritmos genéticos, redes neuronales y lógica fuzzy. Su inclusión en el área de los DSS ha sido duramente cuestionada puesto que estas técnicas tienen como objetivo la sustitución del recurso humano encargado de la toma de decisiones.
- **DSS basados en la administración del conocimiento:** Estos DSS apoyan la toma de decisiones ayudando en el almacenamiento, recuperación, transferencia y aplicación del conocimiento presente en las organizaciones. Estos DSS involucran herramientas de generación de reportes y análisis de datos las cuales procesan la información almacenada en las bases de datos organizacionales.
- **Almacenamiento de datos:** Sistemas dedicados a la administración de bases de datos en donde se encuentran almacenados grandes volúmenes de información la cual es utilizada para apoyar procesos de toma de decisiones.

En la práctica los sistemas personales, de administración del conocimiento y de almacenamiento de datos son los que tienen una mayor presencia en la industria.

Para llevar a cabo el proceso de planeación de la oferta se deben analizar los diferentes planes generados a partir de la atención a la demanda, el impacto en las operaciones y en las finanzas de la organización. Para esto es necesario que en la elaboración del plan intervenga un equipo interdisciplinario relacionado con ventas, operaciones y finanzas, por ello el DSS desarrollado en el presente trabajo se considera como un sistema de apoyo de grupos según la clasificación anterior.

6 METODOLOGÍA

De acuerdo a la clasificación de los tipos de investigación en administración de operaciones realizada por Bertrand y Fransoo (2002), el estudio que ocupa el presente trabajo de grado puede considerarse como una investigación cuantitativa descriptiva y axiomática ya que recoge las teorías desarrolladas por otros autores y desarrolla un mecanismo que permite su aplicación a una situación real a través de un DSS.

La investigación se desarrolló a lo largo de 4 fases principales:

1. **Definición y caracterización del problema a resolver:** Durante esta etapa se definieron las problemáticas principales de la implementación de la planeación de la oferta en la industria y el apoyo de esta en herramientas informáticas, soportado por la revisión de la literatura y la aplicación de una encuesta que permitiera caracterizar la situación actual de algunas empresas del Valle de Aburrá. Esto permitió definir el alcance que el DSS debería tener para atender de manera adecuada esta problemática.
2. **Definición del modelo matemático para la solución del problema:** Se revisaron los modelos matemáticos presentes en la literatura para la solución de la planeación agregada y se adaptó uno basándose principalmente en una evaluación de la complejidad, formas de implementación y beneficios esperados con la utilización del mismo de acuerdo a la situación problemática identificada en el numeral anterior.
3. **Desarrollo del DSS:** La realización del sistema del DSS se realizó a lo largo de la ejecución de los siguientes pasos:
 - a. Definición de la herramienta de desarrollo basada en las características de un DSS, los requerimientos del modelo y en la facilidad de implementación por parte de las empresas.
 - b. Estructuración de las variables de entrada y de salida ajustadas al modelo seleccionado y a la herramienta de implementación.
 - c. Programación del software
 - d. Validación de funcionamiento frente a casos de aplicación de la planeación agregada presentes en la literatura.

A través de esta metodología se logró desarrollar un DSS que incorpora una adaptación a un modelo matemático de programación lineal desarrollado en la literatura en una interfaz que facilita su parametrización, análisis y adquisición de resultados por parte de los encargados de tomar las decisiones en relación al proceso de planeación de la oferta dentro del proceso S&OP. En el siguiente capítulo se hace una descripción detallada de los pasos de desarrollo del DSS y la estructura del mismo.

7 SISTEMA DE APOYO DE DECISIONES PARA EL PROCESO DE LA PLANEACIÓN DE LA OFERTA

7.1 ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN DE LA ETAPA DE PLANEACIÓN DE LA OFERTA

Para complementar la caracterización de la problemática que busca atender el DSS y que fue descrita en el capítulo 2, se elaboró una encuesta con la intención de identificar el estado de la planeación de la oferta en algunas empresas del Valle de Aburrá y a partir de ésta identificar necesidades y oportunidades de mejora que se podrían atender con el DSS propuesto.

La encuesta fue realizada a 39 empresas del Valle de Aburrá dedicadas a la producción de bienes, las cuales se clasificaron de acuerdo al su tipo de actividad así: 10 empresas de confecciones, 12 de alimentos, 6 de cosméticos, 4 de metalmecánica, 3 de plásticos, 2 de materias primas, 1 de cerámicos y 1 ensambladora. Es importante resaltar que el propósito de la encuesta no es el determinar las condiciones en las cuales se encuentra la población de empresas de la región frente a la planeación de la oferta, sino obtener información que desde la práctica, permitiera identificar algunas de las necesidades de la industria frente al proceso. Por lo anterior la selección de la muestra no se hizo con el rigor estadístico necesario como lo sería en una labor de diagnóstico.

La encuesta fue respondida por personas pertenecientes al equipo administrativo de la cadena de abastecimiento de las diferentes empresas, a través de la herramienta de formularios de Google ® y vía correo electrónico, llamada telefónica o efectuados presencialmente.

La encuesta realizada se encuentra detallada en el Anexo 1 y se divide en 3 secciones principales: la primera para describir la situación general de las empresas frente al S&OP, la segunda que caracteriza de forma más específica el proceso de planeación de la oferta y la última que describe la forma en cómo la planeación de la oferta interactúa con las herramientas informáticas disponibles al interior de la organización.

Entre los resultados más importantes arrojados por la encuesta están que alrededor del 60% de las empresas encuestadas no tienen agendadas de forma estricta las reuniones necesarias para definir

los planes fruto del S&OP. De igual forma se evidencia que en relación a las herramientas que utilizan para la planeación de la oferta, el 43.33% de ellas son hojas de cálculo de Excel® y el 20% son una combinación de Excel con la utilización de macros. La proporción restante corresponde a sistemas desarrollados en diferentes lenguajes y a software comercial. Debido a la irregularidad en las reuniones relacionadas con el S&OP y al uso de herramientas informáticas de poca especialización, se podría inferir que la mayoría de las organizaciones encuestadas se encuentran dentro de las etapas 1 y 2 de acuerdo al modelo de madurez de Lapidé (2004) y que existe una preferencia y familiaridad con el uso de Excel®. Lo anterior significa que para estas empresas no sería tan compleja la adopción del DSS desarrollado, lo que permitiría aumentar el actual nivel de madurez frente al proceso de planeación de la oferta.

En relación a las propiedades de las herramientas informáticas que se utilizan a la hora de realizar la planeación de la oferta, se detecta que algunas de ellas no llenan las expectativas de sus usuarios lo cual se refleja en los resultados arrojados por la encuesta presentados en la Tabla 1. En ella se califica varias propiedades de las herramientas utilizadas en una escala de 1 a 5, siendo 1 la calificación más mala y 5 la mejor.

Tabla 1: Calificación de las propiedades de las herramientas utilizadas en la planeación de la oferta

Propiedad de la herramienta	Calificación
Confiabilidad en los resultados	3.31
Detalle de los resultados	3.26
Facilidad en la utilización	3.21
Precisión de los resultados	3.21
Fomenta la comprensión y el trabajo en equipo	3.18
Funcionalidad de la herramienta en el proceso	2.94

De las propiedades citadas en la Tabla 1, se indagó sobre la importancia que le darían a estas propiedades en caso que pudieran adquirir una herramienta nueva. Los resultados se representan en la Tabla 2 y se basan en una escala donde 1 es para nada importante y 5 es completamente importante:

Tabla 2: Calificación de las propiedades de una nueva herramienta para la planeación de la oferta

Propiedad de la herramienta	Calificación
Confiabilidad en los resultados	4.72
Precisión de los resultados	4.49
Facilidad en la utilización	4.39
Funcionalidad de la herramienta en el proceso	4.28
Fomenta la comprensión y el trabajo en equipo	4.21
Detalle de los resultados	3.97

Con base en los resultados arrojados por la encuesta y descritos anteriormente, se confirma que Excel® es el programa informático que se debe usar para el desarrollo del sistema de apoyo a la toma de decisiones en la planeación de la oferta, entre otras razones por la familiaridad que tienen las empresas con este software. De igual forma, se logra evidenciar que la confiabilidad y la precisión en los resultados son las propiedades que mayor importancia tienen a la hora de adquirir un nuevo sistema de información, y que existen deficiencias en lo relacionado a la funcionalidad y facilidad de utilización de las herramientas con las que cuentan las empresas, propiedades a las que se les prestaran especial atención durante el desarrollo del DSS propuesto.

7.2 CARACTERIZACIÓN DE SOFTWARES COMERCIALES EXISTENTES

Tras una revisión en la web y usando los criterios de búsqueda "Aggregate planning software", "Aggregate planning tools", "S&OP software" y "S&OP tools", se encontraron algunos softwares comerciales utilizados en la industria para apoyar la toma de decisiones en el proceso de la planeación de la oferta y se logra concluir que en su mayoría no están diseñados para ser utilizados en este proceso en particular, sino para apoyar el proceso del S&OP de forma más general. Sus precios pueden ascender a USD \$500.000 (T. Wallace, 2010) sin contar los costos de consultoría y de capacitación del personal. En la Tabla 3 se muestran las principales características descritas por los proveedores de los softwares, así como algunas de las empresas en donde estos han sido adquiridos para incluirlos en sus procesos.

De esta revisión se destaca que los softwares comerciales están principalmente concentrados en apoyar los procesos de la planeación de la demanda, así como en la agregación y desagregación

rápida de SKUs, mientras que frente a la elaboración del plan de oferta, éstos se concentran principalmente en identificar dónde, cuándo y cuánto de los artículos deben de producirse o adquirirse con el fin de atender la demanda pronosticada, sin precisar cómo deben ser dispuestos los recursos para lograr la obtención de la misma.

Es de destacar que la mayoría de estas herramientas incluyen análisis de escenarios de tipo “y si...” y ofrecen la integración con Excel® como una característica que facilita la incorporación del sistema al proceso. Estas características se han incluido en el DSS propuesto, debido a que son comunes entre los softwares comerciales encontrados y los distribuidores de los mismos las identifican como fortalezas que son atractivas para las empresas a la hora de seleccionar y adquirir un software.

Tabla 3: Softwares comerciales utilizados en la industria

Nombre	Proveedor	Descripción	Casos
Demand Solutions Sales & Operations Planning	Demand Solutions	Es una suite que funciona sobre la plataforma Windows e integra la planeación de la demanda, la planeación de la oferta y llega incluso a cubrir la planeación de la logística de salida de los productos. Es un software que puede ser operado con recursos propios de hardware o incluso en la nube, ofrece la inclusión de usuarios con diferentes roles para administrar su participación en la construcción de los diferentes planes. Incluye escenarios de tipo “y si”	Everlast, Thule, Kyocera
JDA S&OP	JDA	Es un software que se adecua a la medida de la empresa que lo utiliza. Está enfocado principalmente en la planeación de la capacidad y define variables como la de tamaño de capacidad y ubicación de la misma. Para complementar el proceso de planeación y hacer más fácil y económica su implementación incorpora un Excel ad-in sobre el cual los usuarios pueden visualizar información y modificar los planes.	DuPont, BP America
Steelwedge	Steelwedge	Es un software diseñado para la integración de grande cadenas de abastecimiento a través de la nube. Incorpora módulos de planeación de demanda y de planeación de la oferta, este último atiende las necesidades de la planeación de la capacidad y de inventarios mediante la integración de la información con los proveedores. Se enfoca principalmente en la elaboración de los planes de ventas basados en los pronósticos de demanda, promociones y pricing. Hace integración con Excel para facilitar la utilización por parte de los tomadores de decisiones.	Canon, GoPro, Nissan, Nokia, Lenovo, Hp,
Llamasoft S&OP	Llamasoft	Hace parte de una suite de software llamada Supply Chain Guru y se concentra principalmente en la integración de la información arrojada por los otros programas de la suite. Presenta un entorno gráfico que facilita la comparación y el análisis “y si” de diferentes escenarios. Ofrece la capacidad de adquisición de información a partir de bases de datos de SAP, Oracle e incluso de simples hojas de cálculo.	ThyssenKrupp, LISI Aerospace, Carnival
Profit S&OP	ProfitPoint	Es un software basado en la construcción de cartas de materiales, incluye un modelo de optimización que busca la atención de la demanda de productos finales con el menor costo y el mejor nivel de servicio. Ofrece integración con Excel® para la elaboración de informes gráficos de los planes construidos.	Dole, Deloitte, Bridgestone
IBS S&OP	Infor	Es un software que realiza el análisis de manera desagregada a nivel de SKU, incluye un modelo de optimización que busca la atención del pronóstico de demanda con el menor costo posible y la mayor rotación de inventarios.	Maxell, Volvo, Goodyear,
Arkiva S&OP	Arkiva	Es un software que realiza la planeación agregada en un ambiente Windows y a través de modelos de optimización parametrizables por el usuario. Ofrece integración con Excel® para la construcción de planes como para la presentación de reportes.	Corning, Sunsweet

7.3 DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL DSS

Tras la revisión de la literatura, los resultados arrojados por la encuesta y la identificación de las características de algunos softwares comerciales existentes, se definieron una serie de requerimientos y especificaciones que fueron considerados para desarrollar el DSS propuesto, los cuales se registran en la Tabla 4.

Tabla 4 Especificaciones del DSS propuesto

Requerimiento	Especificación del DSS
El plan de demanda debe estar integrado con el plan de la oferta.	El plan de demanda y los parámetros del plan deben ser incluidos en el DSS a través de archivos de texto y los planes de oferta generados deben estar disponibles para ser agregados como información de entrada a otros sistemas.
Disponibilidad para establecer procesos de colaboración con otros sistemas internos y externos a la empresa.	
Los parámetros deben poder ser modificados por los responsables del proceso.	
El horizonte de planeación varía de acuerdo al proceso de cada empresa.	Los periodos de planeación pueden abarcar de 1 a 24 periodos.
Posibilidad de cambios en las variables de planeación agregada conforme haya cambios en la planeación de la demanda.	La posibilidad de ingresar variaciones a un mismo plan de demanda en cada uno de los escenarios con el fin de evaluar situaciones como promociones o ingreso de nuevos productos.
Consideración de indicadores clave de desempeño	Inclusión de indicadores para el análisis de escenarios, entre ellos:

Requerimiento	Especificación del DSS
Mostrar el impacto del plan de oferta sobre el desempeño financiero de la organización.	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de servicio. • Niveles de inventarios. • Costo total del plan.
Posibilidad de incorporar diferentes estrategias de la planeación agregada.	Habilitar restricciones parametrizables por parte del usuario para que pueda configurar múltiples estrategias como las vistas en la sección 5.2 o inclusive estrategias híbridas y partir de ellas generar escenarios para su comparación.
Considerar los costos relevantes	<p>El DSS considerar los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de materiales. • Costo de mano de obra. • Costo de mano de obra en tiempo extra. • Costo de subcontratación. • Costo de mantener inventarios y de desabastecimiento. • Costo de contratación y despido.
Mostrar la información de manera tabular y en gráficas.	La información debe ser presentada de tal forma que permita la comparación de escenarios y la evaluación del proceso en el tiempo.
Considerar el análisis de escenarios de tipo “y si”.	

A continuación se hace una descripción detallada de la estructura del DSS propuesto, en donde se identifican las especificaciones del sistema.

7.4 ESTRUCTURA DEL DSS

SUPPLA-DSS es un sistema de apoyo a la toma decisiones en la planeación de la oferta dentro del proceso de planeación de ventas y operaciones que funciona como un Excel® ad-in, el cual hace uso de las hojas de cálculo e incorpora sus funciones en la cinta de opciones del programa de Microsoft.

7.4.1 Descripción del sistema

Para la explicación de la estructura del DSS y cómo interactuar con el mismo, se muestra el proceso de planeación de la oferta para una instancia cuya información de entrada se presenta en la Tabla 5 y Tabla 6, junto con la notación utilizada en el modelo de programación lineal, el cual se detalla en la sección 7.4.2.

Tabla 5: Parámetros de producción y condiciones iniciales.

Notación	Descripción	Valor
p	Tasa de producción agregada (horas/unidad).	3
h	Cantidad de horas de trabajo en tiempo normal por día (horas/día)	8
E	Factor de eficiencia definido como la proporción entre el tiempo utilizado por el trabajador y el tiempo definido para el desarrollo de la actividad (número entre 0 y 1)	0,98
U	Factor de utilización que es la proporción de tiempo destinado a labores de producción dentro de la jornada laboral (número entre 0 y 1).	0,95
y	Cantidad de horas extras máximas permitidas por empleado al mes (horas/periodo)	15
I_0	Inventario de unidades agregadas al iniciar el horizonte de planeación (Unidades)	1400
W_0	Cantidad de trabajadores/recursos con los que se cuenta al iniciar el horizonte de planeación (Unidades)	115
α	Factor de desperdicios entendido como la proporción de tiempo destinado a la fabricación de unidades malas respecto al total de tiempo de producción (número entre 0 y 1).	0,03
S_0	Cantidad de unidades desabastecidas al iniciar el horizonte de planeación (Unidades).	0

Tabla 6: Costos

Notación	Descripción	Valor
c	Costo de mano de obra en tiempo regular (\$/hora).	6
e	Costo de mano de obra en tiempo extra (\$/hora).	9
ch	Costo de contratar a un trabajador (\$/trabajador).	450
cf	Costo de despedir a un trabajador (\$/trabajador).	750
cc	Costo de mantener una unidad en inventario (\$/unidad-periodo).	3
cs	Costo de desabasto o de órdenes pendientes (\$/unidad-periodo).	8
cm	Costo de material para la producción de una unidad agregada (\$/unidad).	14
csc	Costo de subcontratar una unidad agregada (\$/hora).	25

Además de la información mostrada anteriormente, es necesario tener la información del plan de demanda en unidades agregadas, el cual se obtiene en la segunda etapa del proceso de S&OP. Su notación en el modelo y los valores empleados para la instancia se representan en la Tabla 7.

Tabla 7: Pronóstico de demanda

Año	Periodo (t)	Unidades Pronosticadas (F_t)	Días laborales (d_t)	Precio unitario (pr_t)
2016	1	2400	23	60
2016	2	4400	24	60
2016	3	4600	25	60
2016	4	5500	25	60
2016	5	2800	24	60
2016	6	3500	23	60

Se supone que está transcurriendo el mes 12 del año 2015 y se desean evaluar los siguientes dos escenarios:

- **Escenario 1:** Finalizar el horizonte de planeación con 800 unidades en inventario y con un nivel de servicio de al menos 90%
- **Escenario 2:** Incluir una promoción en el periodo 5 del 15% de descuento en el precio unitario lo que espera genere un incremento en la demanda para ese periodo del 10% y un decremento de la demanda del periodo 6 del 5%. Se requiere un nivel de servicio de al menos 90% y que la fuerza de trabajo sea nivelada durante el horizonte de planeación.

7.4.2 Modelo de programación lineal

El modelo de optimización generador de los planes de oferta está desarrollado sobre la técnica de programación lineal y es ejecutado a través de un ad-in gratuito de Excel llamado OpenSolver.

Las variables de decisión del modelo son las siguientes:

W_t	Cantidad de trabajadores en el periodo t.
H_t	Cantidad de trabajadores contratados en el periodo t.
L_t	Cantidad de trabajadores despedidos en el periodo t.
P_t	Cantidad de unidades agregadas producidas en el periodo t.
I_t	Cantidad de unidades agregadas en inventario en el periodo t.
S_t	Cantidad de unidades pendientes en el periodo t.
C_t	Cantidad de unidades subcontratadas en el periodo t.
O_t	Número de horas de tiempo extra trabajadas en el mes.

El sistema permite elegir entre optimizar la función de minimización de los costos representada en la ecuación 1 o la de maximización de la utilidad representada en la ecuación 2:

$$\min CostosTotales = Clr + Cle + Chf + Ccs + Cmsc \quad (1)$$

$$\max Utilidad = \sum_{t=1}^n (F_t + S_{t-1} - S_t)pr_t - Costos Totales \quad (2)$$

Para las funciones objetivo del modelo se tienen en cuenta los siguientes costos relevantes del proceso:

- Costo de mano de obra en tiempo normal (Clr):

$$Clr = \sum_{t=1}^n chd_t W_t \quad (3)$$

- Costo de mano de obra en tiempo extra (Cle):

$$Cle = \sum_{t=1}^n eO_t \quad (4)$$

- Costo por contratación y despido (Chf):

$$Chf = \sum_{t=1}^n chH_t + \sum_{t=1}^n cfL_t \quad (5)$$

- Costo de inventario y desabasto (Ccs):

$$Ccs = \sum_{t=1}^n ccl_t + \sum_{t=1}^n csS_t \quad (6)$$

- Costo de materiales y subcontratación ($Cmsc$):

$$CCmsc = \sum_{t=1}^n cmP_t + \sum_{t=1}^n cscC_t \quad (7)$$

El modelo cuenta con las siguientes restricciones:

- **Fuerza de trabajo:** Esta restricción garantiza el balance de la fuerza de trabajo en cada periodo partiendo de la fuerza de trabajo del periodo anterior y las contrataciones y despidos que se hagan en el periodo en curso.

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t \quad (8)$$

$$W_t - W_{t-1} - H_t + L_t = 0 \quad (9)$$

- **Capacidad:** Esta restricción limita al modelo para que defina cantidades a producir menores o iguales a la capacidad de producción de la planta o la capacidad de producción asignada a la familia de productos.

$$P_t \leq \left(\frac{hd_t}{p} \right) \frac{W_t}{UE(1-a)} + \frac{O_t}{p} \quad (10)$$

$$\left(\frac{hd_t}{p} \right) \frac{W_t}{UE(1-a)} + \frac{O_t}{p} - P_t \geq 0 \quad (11)$$

- **Balance de inventario:** Esta restricción conserva el balance en el flujo de unidades dado el pronóstico de demanda, los inventarios y faltantes del periodo anterior y en curso.

$$I_{t-1} + P_t + C_t = F_t + S_{t-1} + I_t - S_t \quad (12)$$

$$I_{t-1} + P_t + C_t - F_t - S_{t-1} - I_t + S_t = 0 \quad (13)$$

- **Tiempo extra:** Esta restricción limita la cantidad de horas de mano de obra en tiempo extra por empleados definidas con el parámetro y .

$$O_t \leq yW_t \quad (14)$$

$$yW_t - O_t \geq 0 \quad (15)$$

- **Nivel de servicio:** El nivel de servicio es la proporción de unidades que se espera vender y entregar en el periodo en el que fueron demandadas. Esta restricción obliga al modelo a atender al menos una proporción del pronóstico de demanda F_t y representado en el parámetro de nivel de servicio mínimo ns .

$$1 - \frac{S_t}{F_t} \geq ns \quad \forall t \quad (16)$$

$$1 - \frac{S_t}{F_t} - ns \geq 0 \forall t \quad (17)$$

- **Contrataciones y despidos enteros:** Estas restricciones obligan al modelo a que no defina valores decimales para la cantidad de recursos a contratar o a despedir.

$$H_t \in \{Z\} \quad (18)$$

$$L_t \in \{Z\} \quad (19)$$

Adicionalmente a las restricciones anteriores, pueden ser incorporadas al modelo restricciones relacionadas con la parametrización del escenario desde el formulario que se detalla más adelante en las Figura 9 y Figura 10. Estas restricciones involucran las variables de fuerza de trabajo, unidades subcontractadas, horas extra, inventario, contrataciones y despidos, las cuales pueden ser restringidas para todos los periodos o para algunos periodos en particular.

El modelo se ejecuta hasta un máximo de cinco veces dependiendo de la cantidad de escenarios que se deseen evaluar y puede incorporar restricciones personalizadas con el fin de modelar los escenarios conforme a las necesidades de análisis.

A continuación se describe el proceso para la generación de un plan que dé solución a los escenarios de la instancia descrita anteriormente.

7.4.3 Proceso de generación del plan.

Para realizar el proceso de planeación de oferta de cualquier escenario es indispensable incluir los archivos de texto con la demanda en la misma carpeta donde se encuentra ubicado el sistema. Para el caso de la instancia a desarrollar se hace necesario ingresar un archivo por cada escenario a analizar, los cuales se presentan en la Figura 5.

Demanda1: Bloc d...					
Year	Item	Q1	Q2	Q3	Q4
2016	1	2400	23	60	
2016	2	4400	24	60	
2016	3	4600	25	60	
2016	4	5500	25	60	
2016	5	2800	24	60	
2016	6	3500	23	60	

Demanda2: Bloc d...					
Year	Item	Q1	Q2	Q3	Q4
2016	1	2400	23	60	
2016	2	4400	24	60	
2016	3	4600	25	60	
2016	4	5500	25	60	
2016	5	3080	24	51	
2016	6	3325	23	60	

Figura 5: Archivos de demandas

Como se observa en la Figura anterior, el archivo Demanda1 presenta la información suministrada en la Tabla 7 y usada para el desarrollo de la instancia frente al escenario 1, mientras que el archivo Demanda2 presenta la información de la misma tabla pero incorporando las modificaciones en demandas y precios necesarias para el desarrollo del escenario 2.

Una vez ingresados la información de los pronósticos de demanda, se debe ingresar la información de costos y parámetros de producción, lo cual se realiza por medio de los formularios a los cuales se accede a través de las opciones habilitadas dentro de la barra de herramientas de Excel en la ficha PLANEACIÓN, como se observa en las Figura 6 y Figura 7.

Figura 6: Formulario de costos

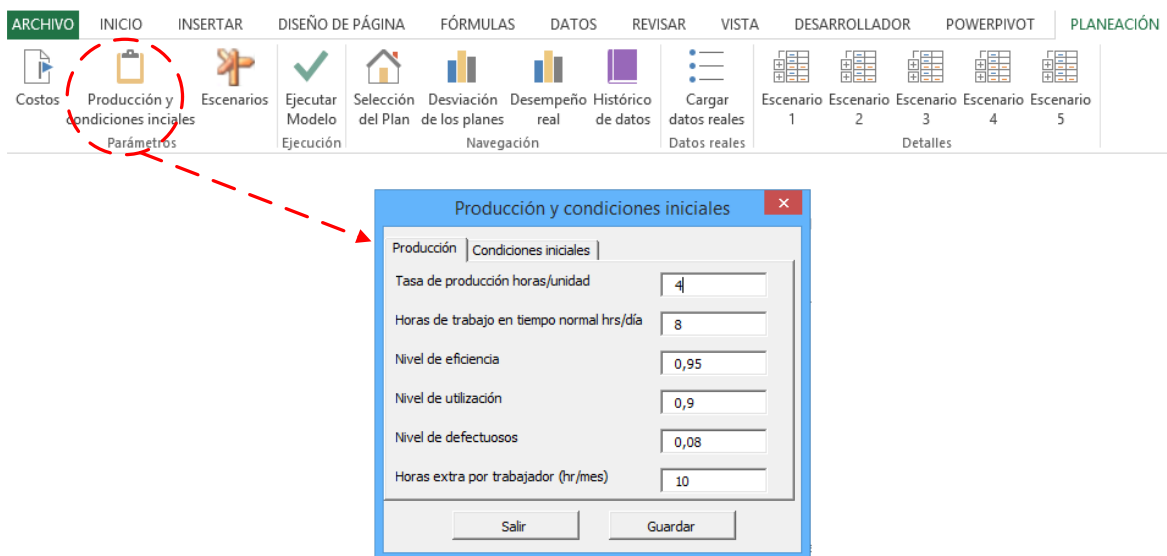


Figura 7: Formulario de Producción y condiciones iniciales.

Al ejecutar la función Guardar de ambos formularios, se actualizan los archivos de texto donde se almacena la información de entrada de cada escenario para el modelo de programación lineal. Tanto el archivo de costos, como el archivo de producción y condiciones iniciales se muestran en la Figura 8, en donde cada dato se encuentra en una línea aparte y en el mismo orden establecido en la Tabla 5 y la Tabla 6 respectivamente.

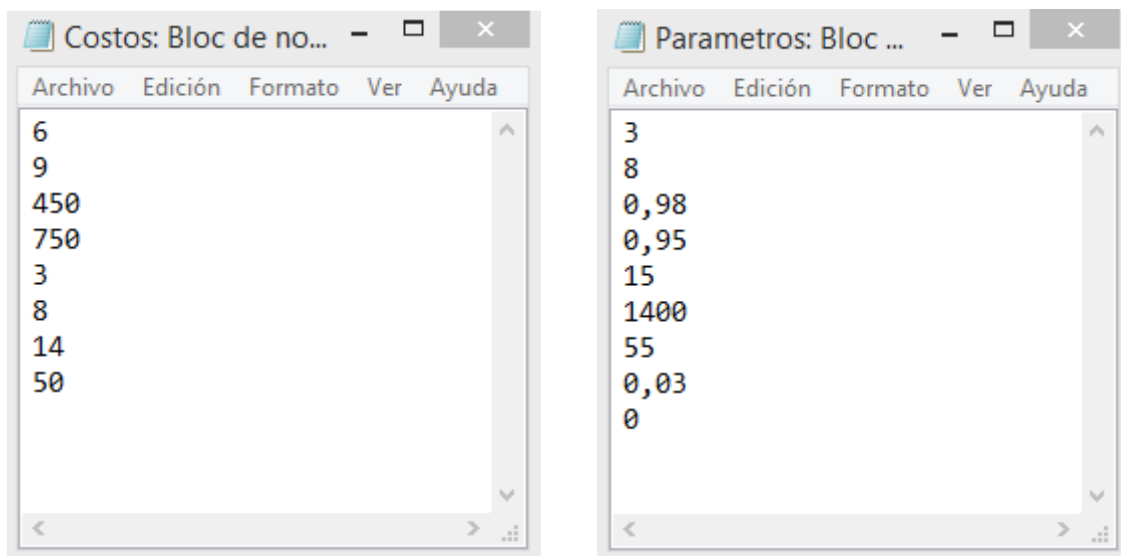


Figura 8: Archivos de costos y parámetros

Una vez ingresada la información de entrada al modelo de optimización, se debe parametrizar el modelo de acuerdo a los escenarios que se deseen evaluar. Para el caso de esta instancia se realizará la parametrización del escenario 1 y el escenario 2.

El escenario 1 requiere de las siguientes restricciones al modelo de programación lineal:

- Restricción de inventario mayor o igual a 800 unidades en el periodo 6:

$$I_6 - 800 \geq 0^1$$

- Restricción de nivel de servicio mayor o igual al 90% a lo largo del horizonte de planeación (ecuación 17):

$$1 - \left(\frac{S_t}{F_t} \right) - 0,9 \geq 0 \quad \forall t$$

La parametrización del escenario 1 a través del formulario Escenarios del SUPPLA-DSS, se puede observar en la Figura 9.

The image shows the 'Escenarios' form in the SUPPLA-DSS application. The top ribbon includes tabs like ARCHIVO, INICIO, INSERTAR, DISEÑO DE PÁGINA, FÓRMULAS, DATOS, REVISAR, VISTA, DESARROLLADOR, POWERPIVOT, and PLANEACIÓN. The 'Escenarios' tab is highlighted in the ribbon and also in the form's tab bar. The form itself has a tab bar with 'Escenario 1' through 'Escenario 5'. The 'Escenario 1' tab is selected. The form contains several input fields and checkboxes for defining scenario parameters. A red circle is drawn around the 'Escenarios' icon in the ribbon and the 'Escenarios' tab in the form. The parameters for Scenario 1 are: Fuerza de trabajo (0), Subcontratado (0), Horas extra (0), Inventario al final del periodo (800), Contrataciones (menor o igual) (0), Despidos (menor o igual) (0), and Nivel de servicio (mayor o igual) (0,9). The 'Maximizar utilidad' checkbox is checked. The 'Escenario 1' and 'Escenario 2' checkboxes at the bottom are also checked.

Figura 9: Parametrización del escenario 1

¹ Esta restricción hace parte de las definidas en la página 39 para la parametrización del escenario.

Por su parte el escenario 2 requiere las siguientes restricciones al modelo de programación lineal:

- Restricción del nivel de servicio, (ecuación 17):

$$1 - \left(\frac{S_t}{F_t} \right) - 0,9 \geq 0 \forall t$$

- Restricciones de fuerza de trabajo nivelada:

$$H_t \leq 0 \forall t > 1^2$$

$$L_t \leq 0 \forall t > 1^2$$

La parametrización del escenario 2 a través del formulario Escenarios de SUPPLA-DSS, se encuentra en la Figura 10.

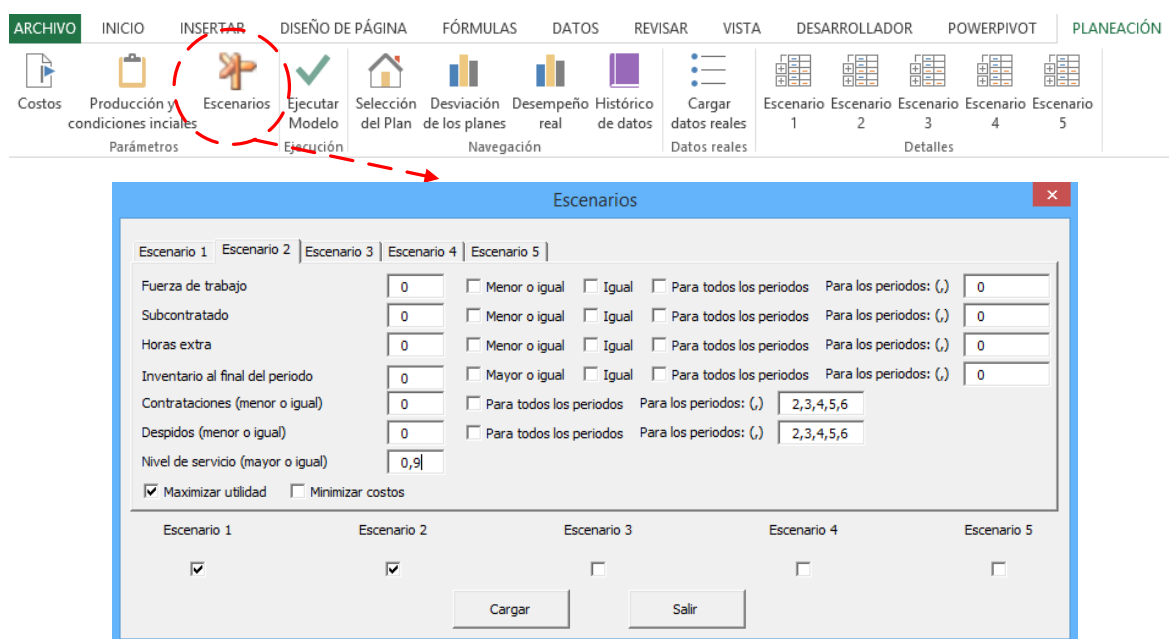


Figura 10: Parametrización del escenario 2

Dado que el escenario 2 contiene una variación en los precios y los niveles de demanda respecto al escenario 1, se define la maximización de la utilidad como función objetivo por

² Esta restricción hace parte de las definidas en la página 39 para la parametrización del escenario.

lo que se activan las casillas de verificación de Maximizar utilidad para ambos escenarios tal y como se muestra en las Figuras Figura 9 y Figura 10.

A pesar de que el DSS está habilitado para la generación de 5 escenarios diferentes, es necesario seleccionar en la parte inferior del formulario Escenarios, cuáles de los 5 escenarios se desean generar. Para el caso de la presente instancia se activan las casillas de verificación de Escenario 1 y Escenario 2, tal como se muestran en la Figura 10.

Tras cargar las restricciones de los diferentes escenarios, se ejecuta el modelo de programación lineal a través de la opción Ejecutar Modelo de la ficha de Planeación en la cinta de opciones. Una vez ejecutado el modelo, se activa la ventana Selección del Plan, en donde se encuentran los resultados de los planes definidos. La Figura 11 muestra la ventana de resultados para el caso de los dos escenarios ejemplificados.

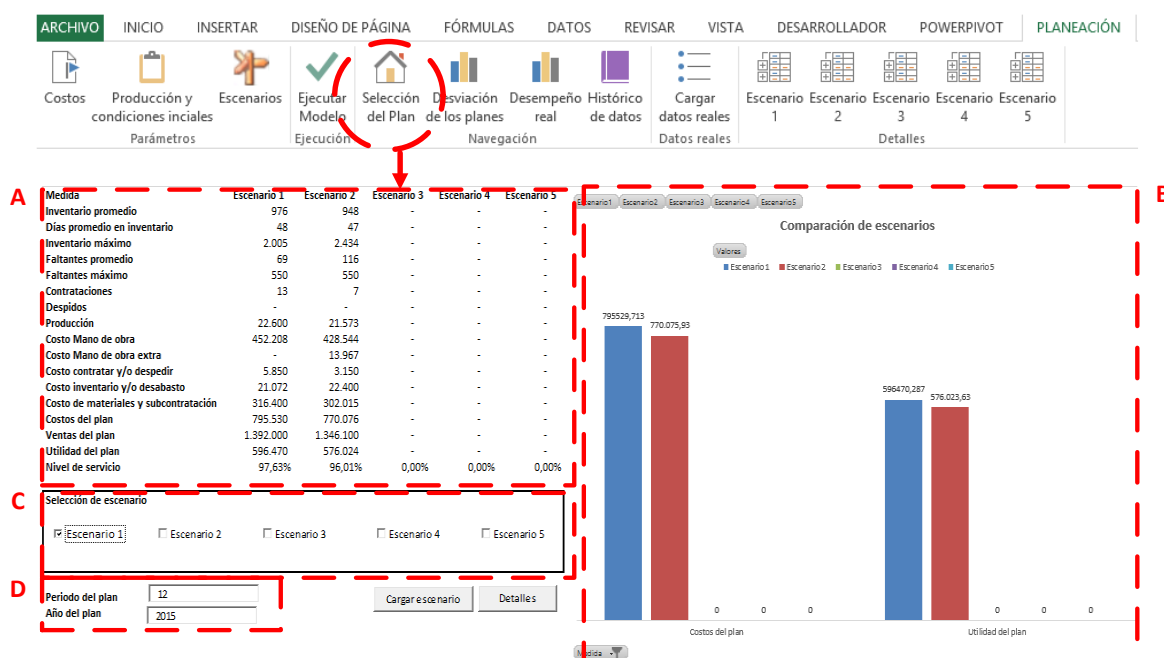


Figura 11: Ventana de Selección del Plan

La ventana Selección del Plan está dividida en 4 secciones como se muestra en la Figura 11: En la sección A están todos los indicadores del total de los periodos de cada uno de los escenarios generados la sección B es una representación gráfica de la sección A. la sección C muestra en donde se hace la escogencia del escenario que se desea utilizar como el plan

para el periodo en curso y en la sección D se le da el nombre al plan a través del ingreso del año y el periodo en curso en el que se está realizando la planeación.

Todas las gráficas incorporadas en el DSS cuentan con la estructura de gráficas dinámicas de Microsoft Excel® por lo que es posible definir la información a graficar y el tipo de gráfico para su representación.

La Figura 12 muestra en detalla la sección A de la Figura 11 en donde se puede observar los principales resultados numéricos de los escenarios planteados. En caso de querer observar el detalle de los resultados en forma gráfica por periodo, para las diferentes medidas de desempeño, se debe presionar el botón Detalles en la ventana Selección del Plan, y seleccionar la medida de desempeño que se desea visualizar.

Medida	Escenario 1	Escenario 2
Inventario promedio	976	948
Días promedio en inventario	6	6
Inventario máximo	2.005	2.434
Faltantes promedio	69	116
Faltantes máximo	550	550
Contrataciones	13	7
Despidos	-	-
Producción	22.600	21.573
Costo Mano de obra	452.208	428.544
Costo Mano de obra extra	-	13.967
Costo contratar y/o despedir	5.850	3.150
Costo inventario y/o desabasto	21.072	22.400
Costo de materiales y subcontratación	316.400	302.015
Costos del plan	795.530	770.076
Ventas del plan	1.392.000	1.346.100
Utilidad del plan	596.470	576.024
Nivel de servicio	97,63%	96,01%

Figura 12: Indicadores totalizados por escenario

La Figura 13 muestra el detalle de los costos totales por periodo para los escenarios planteados.

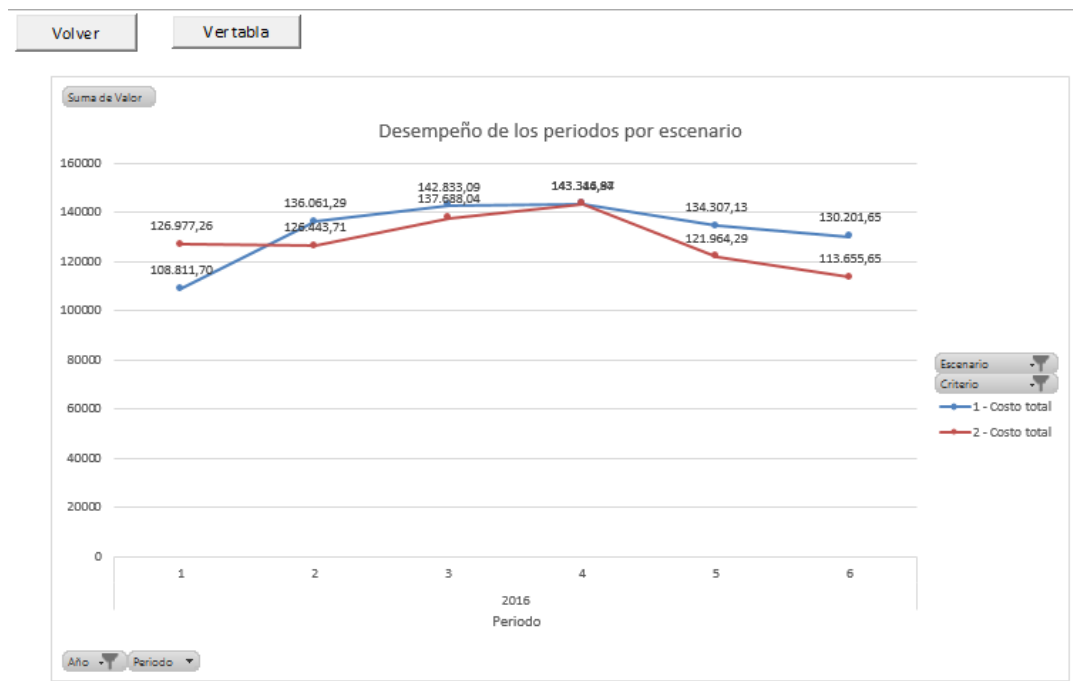


Figura 13: Gráfico de Costos Totales por periodo, por escenario

Los indicadores que se muestran en la tabla de la Figura 12 se calculan como las sumatorias de los valores obtenidos en todos los periodos que abarca el plan, a excepción del inventario promedio y de los días de inventario que se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Inventario promedio} = \frac{\frac{I_0 + I_n}{2} + \sum_{t=1}^{n-1} I_t}{n} \quad (25)$$

$$\text{días de inventario} = \frac{\text{Inventario promedio}}{\frac{\sum_{t=1}^{n-1} F_t}{\sum_{t=1}^n d_t}} \quad (26)$$

Del análisis de la información presentada en las Figura 12 y 13 se puede establecer que el escenario 1 cuenta con un mejor desempeño en las utilidades que el escenario 2, con lo que se puede inferir que la promoción establecida para el segundo escenario no generaría el impacto esperado en las utilidades. Por otra parte se evidencia que implementar el escenario 1 sería más costoso en el horizonte de planeación, por lo que se hace necesario realizar una evaluación de factibilidad desde la perspectiva de planeación financiera para verificar si la compañía cuenta con los recursos necesarios para implementar dicho plan.

Si se supone que el escenario 1 es el que se propone adoptar como plan del periodo en curso, este se debe cargar desde la ventana de Selección del Plan como se muestra en la Figura 14, en donde se establece que el Escenario 1 se carga para el mes de diciembre de 2015.

Selección de escenario

☒ Escenario 1 ☐ Escenario 2 ☐ Escenario 3 ☐ Escenario 4 ☐ Escenario 5

Periodo del plan: 12

Año del plan: 2015

Cargar escenario Detalles

Figura 14: Selección de escenario como plan del periodo en curso.

Una vez efectuado el proceso descrito, se genera un archivo en pdf y en txt con la información detallada del plan seleccionado, la cual se muestra en la Figura 15. Esta información puede ser incorporada a otros sistemas de información y/o para comunicar el plan a otras áreas de la organización.

Año	Condiciones iniciales	2016	2016	2016	2016	2016	2016
Periodo		1	2	3	4	5	6
Demanda		2400	4400	4600	5500	2800	3500
Dias		23	24	25	25	24	23
Precio		60	60	60	60	60	60
Costo mano de obra		6	6	6	6	6	6
Horas jornada		8	8	8	8	8	8
Costo mano de obra tiempo extra		9	9	9	9	9	9
Costo contratación		450	450	450	450	450	450
Costo despido		750	750	750	750	750	750
Costo de mantenimiento		3	3	3	3	3	3
Costo de desabastecimiento		8	8	8	8	8	8
Costo de material		14	14	14	14	14	14
Costo de subcontratar		50	50	50	50	50	50
tasa de producción		3	3	3	3	3	3
Horas máximas por mes		15	15	15	15	15	15
Fuerza de trabajo	55	55	65	68	68	68	68
Contrataciones		0	10	3	0	0	0
Despidos		0	0	0	0	0	0
Produccion		3005	3757	4094	4094	3884	3766
Inventario	1400	2005	1362	856	0	534	800
Faltantes	0	0	0	0	550	0	0
Subcontratado		0	0	0	0	0	0
Horas tiempo extra		0	0	0	0	0	0
Costo MO	0	60720	74880	81600	81600	78336	75072
Costo MO extra	0	0	0	0	0	0	0
Costo cont/desp	0	0	4500	1350	0	0	0
Costo inventario desabasto	0	6016	4086	2568	4400	1601	2400
Costo mat. Y subcont	0	42076	52595	57315	57315	54370	52730
Costo total	0	108812	136061	142833	143315	134307	130202
Venta	0	144000	264000	276000	297000	201000	210000

Costo total	795530	Eficiencia	0,98
Utilidad total	596470	Utilización	0,95
Nivel de servicio	0,98	Defectuosos	0,03

Azules: Información de entrada.
Verde: Variables de decisión.
Rojo: Información calculada

ESCENARIO						
Condición:	Valor	Relación	Todos los periodos	Periodos	Activado	
Fuerza de trabajo	0	0	0	0	0	
Subcontratado	0	0	0	0	0	
Horas extra	0	0	0	0	0	
Inventario al final del periodo	800	3	0	6	1	
Contrataciones	0	1	0	0	0	
Despidos	0	1	0	0	0	
Nivel de servicio	0,9	1	1	0	1	

Relación:
0: No existe
1: Menor o igual (<=)
2: Igual (=)
3: Mayor o igual (>=)

Todos los periodos:
0: No son todos los periodos
1: Todos los periodos

Activado:
0: Inactivo

Figura 15: Plan seleccionado

Una funcionalidad adicional que tiene el SUPPLA-DSS es que es posible acceder en cualquier momento a la información representada en la Figura 15 para cada uno de los escenarios, lo cual se puede hacer desde las opciones disponibles en la cinta de opciones del DSS, las cuales se muestran en la Figura 16.



Figura 16: Opciones para la vista de detalles de los escenarios.

7.4.4 Herramientas de análisis a posteriori

Además del proceso de generación del plan de oferta, SUPPLA-DSS cuenta con herramientas adicionales que permiten medir el desempeño operativo de la organización y la desviación de los planes generados a través de la historia respecto a las condiciones reales de la empresa. A continuación se hace una descripción detallada de dichas herramientas.

- **Opción Cargar datos reales**

Esta opción activa la ventana en donde se ingresa el desempeño real de la empresa frente a las variables e indicadores comprometidos en el proceso de planeación de la oferta y representados previamente en la Figura 12.

Mediante la acción del botón Descargar datos del Plan (Ver Figura 17), se descarga la información del plan aceptado, el cual pertenece al periodo descrito en los cuadros de texto de la ventana. Una vez efectuado este proceso, se procede a ingresar los datos reales del periodo transcurrido y a cargarlos en el sistema utilizando el botón Cargar datos reales. El procedimiento anteriormente descrito se representa en la Figura 17 y se hace necesaria su ejecución antes de utilizar las opciones Desviación de los planes y Desempeño real, las cuales son explicadas más adelante.

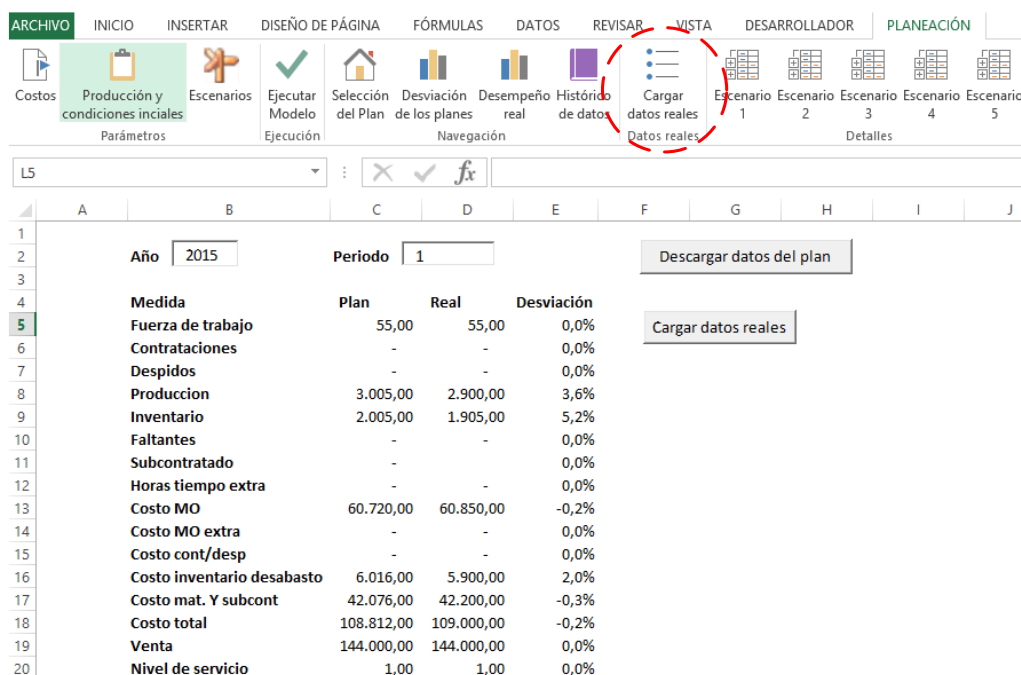


Figura 17: Opción de carga de datos reales.

- **Opción Desviación de los planes**

Esta opción requiere del ingreso de la información del desempeño real de la empresa en periodos pasados para poder encontrar el histórico de la desviación para cada una de las medidas involucradas en la planeación de la oferta, como se muestra en la Figura 18.

Para este caso el porcentaje de desviación está definido como la variación porcentual entre el valor del indicador que se obtiene en el plan y el valor real. Esta información es importante ya que permite saber que tan ajustados están los planes diseñados frente a la situación real de la empresa, con el fin de lograr tomar las acciones correctivas adecuadas en caso de tener desviaciones muy altas.

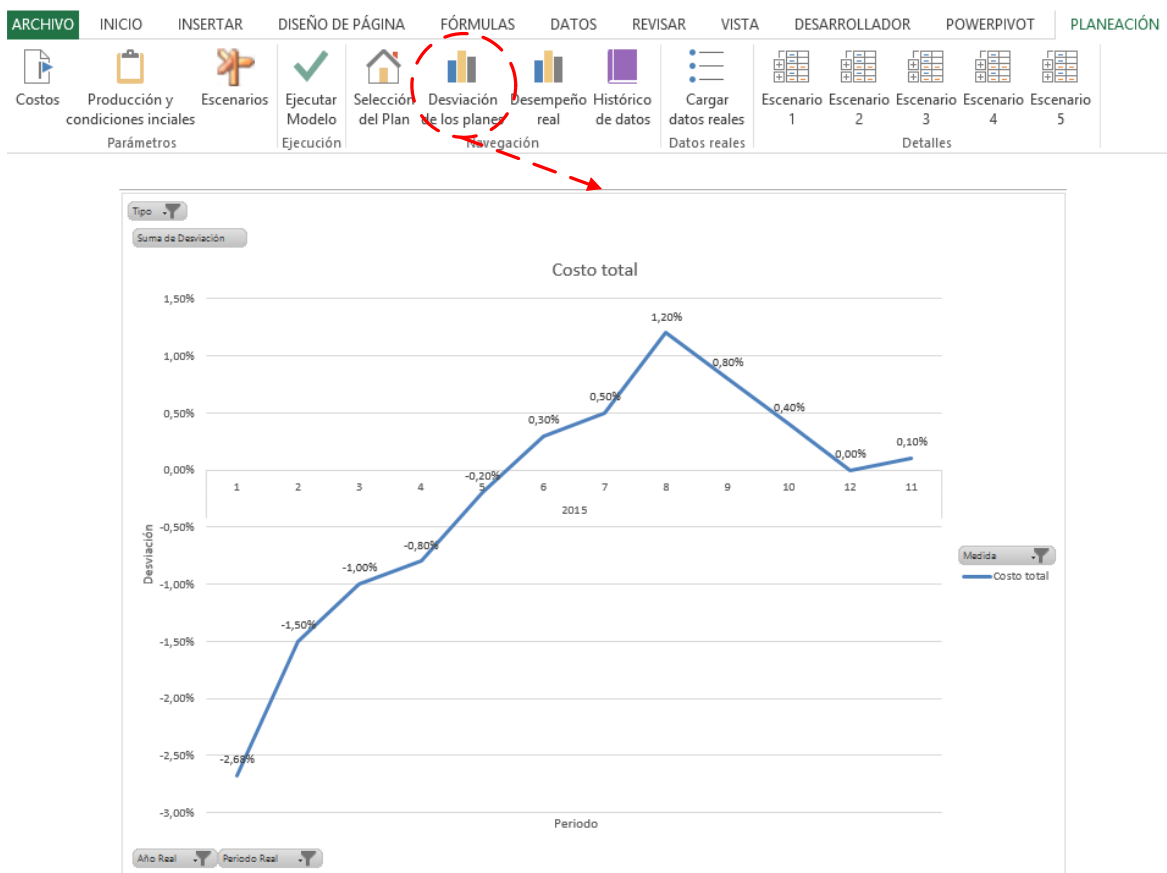


Figura 18: Opción de desviación de los planes.

Por ejemplo en la Figura 18 se observa que para el periodo 1 del año 2015 hay una variación negativa de 2,68% en los costos totales planeados contra los costos totales ejecutados. Esta medida de variación es significativamente más alta que en los demás periodos, por lo que es necesario establecer las causas que llevaron a ello con el fin de tomar correctivos que permitan mejorar el proceso de planeación.

- **Opción Desempeño real**

Esta opción activa la ventana representada en la Figura 19, donde se muestra el desempeño histórico de la empresa en cuanto a las variables involucradas en el proceso de planeación de la oferta y la proyección de las mismas con base en el plan aceptado.

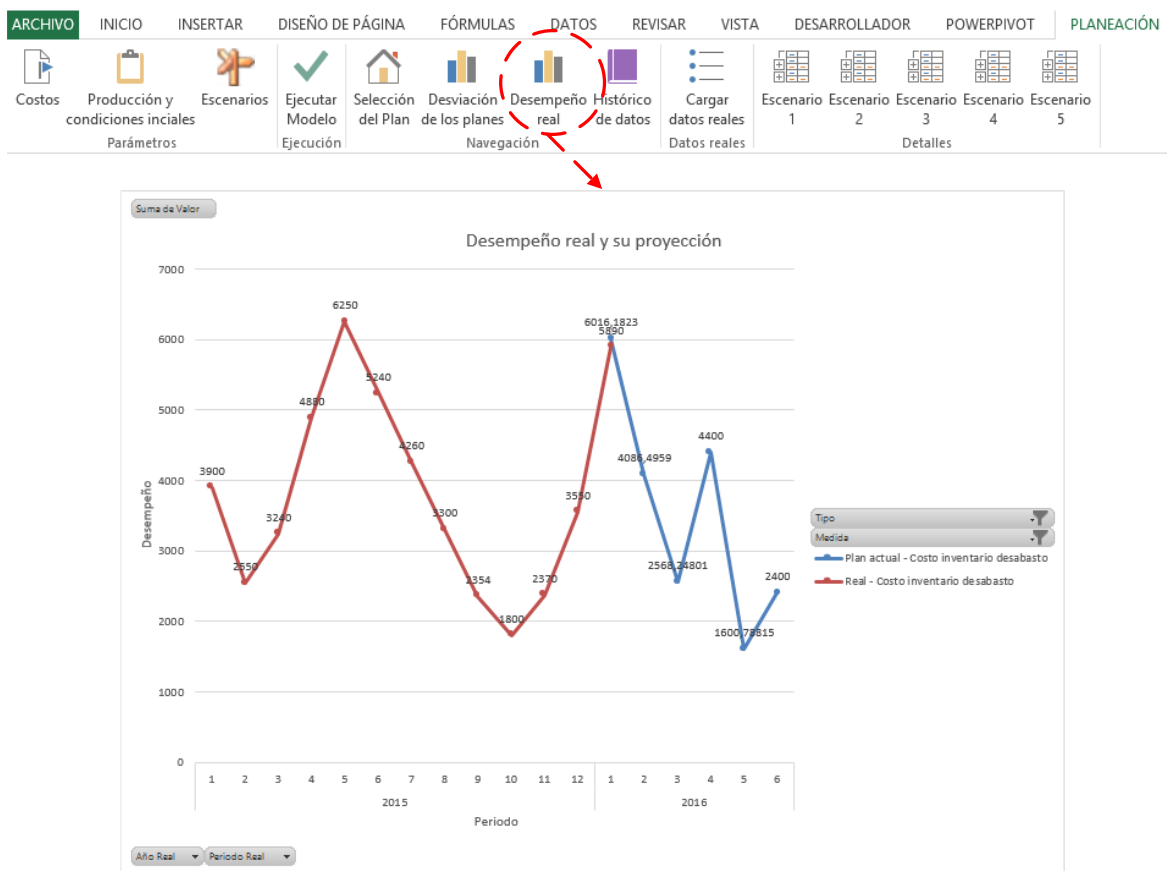
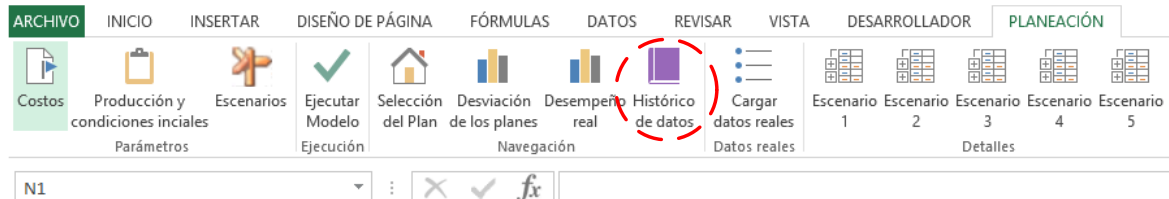


Figura 19: Opción de desempeño real.

El propósito de esta opción es tener un comparativo del desempeño real obtenido en los indicadores claves del proceso de planeación y el desempeño planeado para los periodos futuros. Así por ejemplo en la Figura 19 se observa que se presenta un nivel históricamente alto en los costos de inventario y desabasto en el periodo 1 de 2016, sin embargo se espera que los mismos se reduzcan de acuerdo a lo planeado para los siguientes seis periodos. Con base en ello la empresa puede tomar medidas por ejemplo frente al capital de trabajo involucrado en los niveles de inventarios, el cual se espera reducir para los siguientes periodos.

- **Opción Histórico de datos**

Esta opción activa la ventana que se muestra en la Figura 20 con los datos históricos que ha almacenado SUPPLA-DSS a lo largo de su uso en la planeación de la oferta.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Tipo	Año plan	Período pl.	Año Real	Período Real	Medida	Valor	Desviació	
2	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Demanda	1600		
3	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Dias	20		
4	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Precio	15		
5	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Costo mano de obra	4		
6	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Horas jornada	8		
7	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Costo mano de obra tiempo extra	6		
8	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Costo contratación	300		
9	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Costo despido	500		
10	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Costo de mantenimiento	2		
11	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Costo de desabastecimiento	5		
12	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Costo de material	10		
13	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Costo de subcontratar	30		
14	Plan antiguo	2015	1	2015		1 tasa de producción	4		
15	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Horas máximas por mes	10		
16	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Fuerza de trabajo	63		
17	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Contrataciones	0		
18	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Despidos	17		
19	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Produccion	2520		
20	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Inventario	1920		
21	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Faltantes	0		
22	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Subcontratado	0		
23	Plan antiguo	2015	1	2015		1 Horas tiempo extra	0		

Figura 20: Opción de datos históricos

La tabla de datos presenta los siguientes campos:

- **Tipo:** Corresponde a la clase que el registro pertenece, puede ser: Plan antiguo, plan actual o real.
- **Año Plan:** Corresponde al año en que se realizó el plan del registro.
- **Periodo Plan:** Corresponde al periodo en el que se realizó el plan del registro.
- **Año Real:** Corresponde al año del registro que muestra una medida perteneciente al desempeño real de la empresa.

- **Periodo Real:** Corresponde al periodo del registro que muestra una medida perteneciente al desempeño real de la empresa.
- **Medida:** Corresponde al nombre de la variable, parámetro o indicador al cual pertenece ese registro.
- **Valor:** Corresponde a la cuantificación de la medida del registro.
- **Desviación:** Corresponde a la proporción en la cual el periodo real se desvió en alguna medida respecto a lo que se tenía planeado para el mismo.

El propósito de esta opción es contar con los registros de la información histórica del proceso de planeación de oferta con los cuales se construyen los reportes de las opciones de Desviación de los planes y Desempeño –real. De igual forma los datos aquí almacenados pueden ser utilizados para la generación de reportes adicionales que el equipo de planeación de la oferta crea conveniente para su análisis.

Las herramientas de análisis a posteriori incorporadas en SUPPLA-DSS, buscan agregar valor al proceso de planeación de la oferta proporcionando la capacidad de evaluar en retrospectiva el proceso de toma de decisiones, con el fin de involucrar al proceso de planeación en un ciclo de mejoramiento continuo.

8 CONCLUSIONES

Se desarrolló el sistema SUPPLA_DSS, el cual es un sistema de apoyo para la toma de decisiones para la etapa de la planeación de la oferta en el proceso de Planeación de Ventas y Operaciones (S&OP) que incorpora un modelo de optimización basado en la técnica de programación lineal, mediante el cual los encargados de elaborar estrategias y planes para la gestión de la oferta tienen la capacidad de analizar de manera comparativa hasta cinco escenarios diferentes de manera simultánea, con el fin de apoyar el proceso de toma de decisiones para seleccionar el que mejor impacto tenga para la organización en el mediano plazo.

Se lograron incorporar en SUPPLA-DSS la importación y exportación de información mediante archivos de texto, la manipulación del modelo base por medio de una interfaz gráfica y la posibilidad de analizar múltiples escenarios en paralelo, las cuales fueron identificadas como especificaciones necesarias en sistema de apoyo a la toma de decisiones de acuerdo a la revisión de la literatura, a la recolección de características presentes en softwares comerciales reconocidos y la opinión de personas involucradas en la administración de la cadena de abastecimiento de algunas empresas manufactureras ubicadas en el Valle de Aburrá.

SUPPLA-DSS se construyó como un Excel® ad-in, con el propósito de favorecer su implementación y uso, ya que se logró comprobar a través de la revisión de la literatura y de la encuesta efectuada que existe una marcada inclinación y preferencia con las herramientas de la suite de Office.

A pesar de que el conocimiento sobre programación lineal y optimización pueda no estar presente al interior de las organizaciones, la interfaz gráfica con la que opera el DSS hace que no sea necesario ser un experto en dicho conocimiento para obtener los beneficios que esta técnica puede traer al proceso de planeación de la oferta.

Además de la generación de planes de oferta, se incorporó al DSS herramientas que permiten medir la brecha existente entre el proceso de planeación de la oferta y la situación real de la empresa a través de la comparación del desempeño planeado y el desempeño real de la misma a lo largo del tiempo. De igual forma la inclusión de herramientas que permitan la proyección del desempeño operativo, permitirá a la organización prepararse ante las circunstancias de los próximos periodos condicionadas por el comportamiento en la demanda.

Se considera que la implementación del DSS contribuye a escalar en la etapa de madurez en la que se encuentra una empresa frente al proceso de planeación de ventas y operaciones, ya que favorece la generación de planes alineados con el plan de demanda, la comunicación con otras herramientas involucradas en el proceso y el análisis de diferentes escenarios desde las perspectivas operativa, comercial y financiera para la obtención de resultados que estén ajustados a las políticas del negocio.

9 TRABAJOS FUTUROS

Tras el desarrollo del Sistema para el apoyo de la toma de decisiones, se debería desarrollar un modelo de implementación del mismo en un entorno empresarial, acompañado de un programa de capacitación para la mediana y alta gerencia, con el fin de facilitar su implementación y favorecer la consecución de resultados de mayor impacto en un menor tiempo. Del mismo modo se debería realizar un modelo de implementación en el aula de clase para que a través de la incorporación del DSS se favorezca el entendimiento de la etapa de la planeación de la oferta por parte de los futuros profesionales y/o empleados en entrenamiento.

El desarrollo del presente trabajo puede utilizarse como punto de partida para el desarrollo de aplicativos que se integren a SUPPLA-DSS y aporten al proceso de Planeación de ventas y operaciones desde la perspectiva de otras etapas involucradas en el mismo como son la planeación de la demanda y la planeación financiera.

De igual forma pueden adicionarse a SUPPLA-DSS otras técnicas reconocidas para la solución al problema de la planeación agregada y las cuales fueron citadas en la sección 5.4, con el fin de generar una mayor cantidad de escenarios y de aportar algunas posibilidades que la programación lineal no ofrece.

Además se podría adicionar al sistema desarrollado módulos que amplíen el conocimiento sobre el impacto que tienen los resultados arrojados por el DSS. Esto involucra herramientas tales como análisis de sensibilidad e incorporación del modelo dual al descrito en la sección 7.4.2.

A pesar de que la planeación de ventas y operaciones en las empresas de servicios considere variables diferentes a las incluidas en SUPPLA-DSS, el desarrollo de este sistema frente a las especificaciones de un DSS consignadas en la literatura pueden utilizarse como bases para el desarrollo de un sistema similar para este tipo de industria.

Además de las pruebas realizadas sobre SUPPLA-DSS para definir la coherencia en los resultados arrojados por este, se podría robustecer la herramienta mediante la elaboración de pruebas de usabilidad en busca de mejorar la interfaz gráfica actual y con ello facilitar la interacción del usuario con la herramienta.

Por último se podría utilizar la encuesta presentada en este trabajo de grado como punto de partida para realización de un diagnóstico del estado de la planeación de ventas y operaciones en la región, para que sirva de herramienta para la creación de planes de acción que lleven al mejoramiento de la competitividad de las empresas.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Alter, S. (1980). *Decision support systems: current practice and continuing challenges* (Vol. 157). Addison-Wesley Reading, MA.
- Alter, S. (1986). A Taxonomy of Decision Support Systems. *Sloan Management Review*, 19(1), 39–56.
- Arnott, D., & Pervan, G. (2005). A critical analysis of decision support systems research. *Journal of Information Technology*, 20(2), 67–87. doi:10.1057/palgrave.jit.2000035
- Arnott, D., & Pervan, G. (2014). A critical analysis of decision support systems research revisited: the rise of design science. *Journal of Information Technology*, 29(4), 269–293. doi:10.1057/jit.2014.16
- Bertrand, J. W. M., & Fransoo, J. C. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2), 241 – 264.
- Bower, P. (2006). How the s&op process creates value in the supply chain.
- Buxey, G. (2005). Aggregate planning for seasonal demand: reconciling theory with practice. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(11), 1083 – 1100.
- Castro, C. A. (2008). *Planeación de la producción*. (F. E. EAFIT, Ed.). Medellín.
- Chase, R. B., & Jacobs, F. R. (2013). *Administración de operaciones Producción y cadena de suministros*. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana Editores. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=xvUJAQAAMAAJ>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la cadena de suministro: estrategia, planificación y operación* (Quinta edi.). México: Pearson Educación.
- Danh, D. C. (2014). Aggregate production planning for a company: A case study of AMG company. International University HCMC, Vietnam.
- Gasim, M. A. (2011). Aggregate Production Planning Using Goals Programming فادهلاً - مع نم ادب مع دحاول مساج ط يطخ تلا لما شلا جات نابل مادخ تساب قجمر ب *Electrical Eng. Dept.*

University of Mosul, Iraq.

- Gomes da Silva, C., Figueira, J., Lisboa, J., & Barman, S. (2006). An interactive decision support system for an aggregate production planning model based on multiple criteria mixed integer linear programming. *Omega*, 34(2), 167–177. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305048304001409>
- Gorry, G. A., & Morton, M. S. S. (1971). *A framework for management information systems* (Vol. 13). Massachusetts Institute of Technology.
- Grimson, J. A., & Pyke, D. F. (2007). Sales and operations planning: an exploratory study and framework. *The International Journal of Logistics Management*, 18(3), 322–346.
- Gutiérrez, V., & Rodríguez, L. F. (2008). Diagnóstico regional de gestión de inventarios en la industria de producción y distribución de bienes. *Revista Facultad de Ingeniería*, 157–171. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-62302008000300014&script=sci_abstract
- Ivert, L. K., & Jonsson, P. (2010). The potential benefits of advanced planning and scheduling systems in sales and operations planning. *Industrial Management & Data Systems*, 110(5), 659–681.
- Lapide, B. L. (2004). An S&OP maturity model. *Journal Of Business Forecasting Methods And Systems*, 24(3), 15–28.
- Lapide, B. L. (2005). Sales and operations planning part III: A diagnostic model. *The Journal of Business Forecasting*, 13, 3–6.
- Lisboa, J. V, Gomes, C. F., & Yasin, M. M. (2012). Improving Organizational Efficiency: A Comparison of Two Approaches to Aggregate Production Planning. *International Journal of Management*, 29(2), 792–806. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,shib&db=buh&AN=76444459&site=ehost-live>
- Madadi, N., & Wong, K. Y. (2013). A deterministic aggregate production planning model considering quality of products. *IOP Conference Series: Materials Science and*

Engineering, 46, 012015. doi:10.1088/1757-899X/46/1/012015

- Nam, S., & Logendran, R. (1992). Aggregate production planning — A survey of models and methodologies. *European Journal of Operational Research*, 61(3), 255–272.
- Palmatier, G. E., & Colleen, C. (2003). *Enterprise sales and operations planning: synchronizing demand, supply and resources for peak performance*. Boca Raton, FL: J. Ross Pub.
- Pan, L., & Kleiner, B. H. (1995). Aggregate planning today. *Work Study*, 44(3), 4–7. doi:10.1108/00438029510085339
- Penlesky, R. J., & Srivastava, R. (1994). Aggregate production planning using spreadsheet software. *Production Planning & Control*, 5(6), 524–532. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537289408919526>
- Phruksaphanrat, B., Ohsato, A., & Yenradee, P. (2011). Aggregate production planning with fuzzy demand and variable system capacity based on Toc measures. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 18(5).
- Power, D. J. (2008). Decision Support Systems : A Historical Overview. *Handbook on Decision Support Systems*, 121–140. doi:10.1007/978-3-540-48713-5_7
- Shafer, S. M. (1991). A spreadsheet approach to aggregate scheduling. *Production and Inventory Management Journal*, 32(4), 4.
- Sillekens, T., Koberstein, A., & Suhl, L. (2011). Aggregate production planning in the automotive industry with special consideration of workforce flexibility. *International Journal of Production Research*, 49(17), 5055–5078. doi:10.1080/00207543.2010.524261
- Singhal, J., & Singhal, K. (2007). Holt, Modigliani, Muth, and Simon’s work and its role in the renaissance and evolution of operations management. *Journal of Operations Management*, 25(2), 300–309. doi:10.1016/j.jom.2006.06.003
- Sprague, R. H. (1980). or the Development of Decision Support Systems Definition , Examplis , (December), 1–27.

- Stahl, R. a. (2010). Executive S&OP: managing to achieve consensus key points. *Foresight*, 34–38.
- Tavares Thomé, A. M., Scavarda, L. F., Fernandez, N. S., & Scavarda, A. J. (2012). Sales and operations planning: A research synthesis. *International Journal of Production Economics*, 138(1), 1–13.
- Techawiboonwong, A., & Yenradee, P. (2002). Aggregate production planning using spreadsheet solver: Model and case study. *Science Asia*, 28(3), 291–300.
- Tuomikangas, N., & Kaipia, R. (2014). A coordination framework for sales and operations planning (S&OP): Synthesis from the literature. *International Journal of Production Economics*, 154, 243–262. doi:10.1016/j.ijpe.2014.04.026
- Wallace, T. (2004). *Sales & Operations Planning – The How-To Handbook*. (T. F. Wallace & Company, Eds.) (2nd ed.). Cincinnati, OH.
- Wallace, T. (2006). Forecasting and sales & operations planning: synergy in action. *Journal Of Business Forecasting Methods And Systems*, 25(1), 16–22.
- Wallace, T. (2010). Executive Sales & Operations Planning: Cost and benefit analysis. *Journal of Business Forecasting*, 13–18.
- Wang, R.-C., & Liang, T.-F. (2004). Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning. *Computers & Industrial Engineering*, 46(1), 17–41.

11 ANEXOS

11.1 ANEXO 1: ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN DE LA PLANEACIÓN DE OFERTA

1. Aspectos generales de la planeación de ventas y operaciones

1.1. ¿De cuánto tiempo hacia el futuro se compone el horizonte de planeación de ventas y operaciones en su Empresa?

- ☐ Menor o igual a 1 mes
- ☒ 2 a 3 meses
- ☐ 4 a 6 meses
- ☐ 7 a 9 meses
- ☐ 10 a 12 meses
- ☐ 12 a 18 meses
- ☐ 18 a 24 meses
- ☐ Mayor que 24 meses

1.2. ¿Cada cuánto es actualizado y/o revisado el plan de ventas?

- ☐ Semanal
- ☐ Quincenal
- ☐ Mensual
- ☐ Trimestral
- ☐ Semestral
- ☐ Anual
- ☐ Otro:

1.3. ¿Cada cuánto es actualizado y/o revisado el plan de operaciones?

- ☐ Semanal
- ☐ Quincenal
- ☐ Mensual
- ☐ Trimestral
- ☐ Semestral
- ☐ Anual
- ☐ Otro:

1.4. ¿Cuántas familias de productos están definidas en la compañía?

Tener en cuenta que las familias son los grupos formados con referencias de características similares, las cuales son usadas para realizar procesos de planeación agregada.

- ☐ 1 a 3
- ☐ 4 a 6
- ☐ 7 a 9
- ☐ 10 a 12
- ☐ 13 a 15
- ☐ 15 a 20
- ☐ Más de 20

1.5. ¿Cuál es el criterio de agrupación de los productos para la generación de las familias? (ejemplos: económico, de procesos similares, de capacidad)

- ☐ Procesos similares
- ☐ Materias primas similares
- ☐ Características finales similares (peso, color, etc)
- ☐ Niveles de demanda similares
- ☐ Posición geográfica de la demanda
- ☐ Posición geográfica de la oferta
- ☐ Otro:

1.6. ¿Existe una relación directa entre los objetivos estratégicos de la Organización y el proceso de planeación de ventas y operaciones?

- ☐ Si
- ☐ No

1.7. ¿Qué tipo de indicadores se utilizan para evaluar el desempeño del proceso de planeación de ventas y operaciones?

- ☐ No se utilizan indicadores
- ☐ De costo
- ☐ De nivel de servicio
- ☐ De niveles de inventario
- ☐ De calidad
- ☐ De tasas de utilización de planta
- ☐ De porcentaje de aceptación de pronóstico
- ☐ Otro:

1.8. De acuerdo al ciclo en el que se realiza el proceso de planeación de ventas y operaciones en su empresa, defina con qué frecuencia se realizan las siguientes reuniones

	Nunca	Pocas veces	Casi siempre	Siempre
Reunión de análisis de resultados anteriores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reunión de demanda	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reunión de mercadeo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reunión de nuevos productos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reunión de capacidad de planta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Reunión de abastecimiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reunión gerencial.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

1.9. ¿Qué áreas están involucradas en el proceso de planeación de ventas y de operaciones en su empresa?

- ☐ Gerencia general
- ☐ Ventas
- ☐ Mercadeo
- ☐ Desarrollo de nuevos productos
- ☐ Compras
- ☐ Logística
- ☐ Producción
- ☐ Calidad
- ☐ Finanzas
- ☐ Otro:

2. Aspectos de la planeación de la producción y operaciones

2.1. ¿Cuáles variables y/o parámetros son afectados a través del proceso de planeación de la oferta?

- ☐ Nivel de capacidad
- ☐ Nivel de backorders
- ☐ Nivel de inventarios
- ☐ Nivel de servicio
- ☐ Fuerza laboral
- ☐ Tasa de producción
- ☐ Porcentaje de obsolescencia
- ☐ Porcentaje de defectuosos
- ☐ Porcentaje de reproceso

- ☐ Costos
- ☐ Tiempo de operación
- ☐ Lead times
- ☐ Otro:

2.2. ¿Se mide el impacto financiero que tienen los planes generados en la etapa de la planeación de la producción? *

- ☐ Si
- ☐ No

2.3. ¿Qué procesos o áreas utilizan la información generada durante el proceso de planeación de la oferta?

- ☐ Ventas
- ☐ Mercadeo
- ☐ Programación de planta
- ☐ Compras
- ☐ Logística de entrada
- ☐ Logística de salida
- ☐ Otro:

2.4. ¿Cómo se mide el desempeño de la Empresa en cuanto a inventarios?

- ☐ Valor del inventario
- ☐ Días de inventario
- ☐ Rotación del inventario
- ☐ Exactitud del inventario (por valor o cantidades)
- ☐ No se mide el desempeño en inventarios
- ☐ Otro:

2.5. ¿Cómo se mide el desempeño de la Empresa en cuanto a niveles de producción?

- ☐ Productividad de la mano de obra
- ☐ Productividad de las materias primas

- ☐ Tiempos de producción
- ☐ Eficiencias
- ☐ Niveles de utilización de la capacidad
- ☐ No se mide el desempeño de la producción
- ☐ Otro:

2.6. ¿Cómo se mide el desempeño de la Empresa en cuanto a nivel de servicio?

- ☐ Pedidos entregados a tiempo
- ☐ Pedidos entregados completos (fill rate)
- ☐ Lead time logístico
- ☐ Ventas perdidas
- ☐ Ventas retrasadas
- ☐ No se mide el desempeño del nivel de servicio
- ☐ Otro:

3. Aspectos de los sistemas de información empleados en la planeación de la oferta (producción u operaciones)

3.1. ¿Qué software(s) o herramienta(s) de información se utiliza(n) en todo el proceso de planeación de ventas?

- ☐ Hojas de cálculo planas
- ☐ Hojas de cálculo con macros o VBA
- ☐ Aplicativos desarrollados al interior de la empresa
- ☐ Aplicativos hechos a la medida por terceros
- ☐ Aplicativos comerciales totalmente genéricos
- ☐ Aplicativos comerciales con adecuaciones a la medida
- ☐ No existe herramienta alguna
- ☐ Otro:

3.2. En caso tal de haber respondido en la pregunta anterior aplicativos comerciales especifique su nombre:

3.3. ¿Qué software(s) o herramienta(s) de información se utiliza(n) en todo el proceso de planeación de oferta (producción u operaciones)?

- ☐ Hojas de cálculo planas
- ☐ Hojas de cálculo con macros o VBA
- ☐ Aplicativos desarrollados al interior de la empresa
- ☐ Aplicativos hechos a la medida por terceros
- ☐ Aplicativos comerciales totalmente genéricos
- ☐ Aplicativos comerciales con adecuaciones a la medida
- ☐ No existe herramienta alguna
- ☐ Otro:

3.4. En caso tal de haber respondido en la pregunta anterior aplicativos comerciales especifique su nombre:

3.5. ¿Cuáles son las variables y/o parámetros de entrada utilizados en la(s) herramienta(s) utilizada(s) en la planeación de la oferta? *

- ☐ Tiempos de producción
- ☐ Mix de productos
- ☐ Tiempos de cambio
- ☐ Defectuosos
- ☐ Eficiencias
- ☐ Utilización de capacidad
- ☐ Fuerza laboral
- ☐ Costos
- ☐ Niveles de ventas
- ☐ Niveles de agotados
- ☐ Ordenes atrasadas
- ☐ Curvas de aprendizaje
- ☐ Subcontratación
- ☐ Niveles de servicio
- ☐ Otro:

3.6. ¿Cuáles son las variables y/o parámetros de salida utilizados en la(s) herramienta(s) utilizada(s) en la planeación de la oferta?

- ☐ Tiempos de producción
- ☐ Mix de productos
- ☐ Tiempos de cambio
- ☐ Defectuosos
- ☐ Eficiencias
- ☐ Utilización de capacidad
- ☐ Fuerza laboral
- ☐ Costos
- ☐ Niveles de ventas
- ☐ Niveles de agotados
- ☐ Ordenes atrasadas
- ☐ Curvas de aprendizaje
- ☐ Subcontratación
- ☐ Niveles de servicio
- ☐ Otro:

3.7. La(s) herramienta(s) que utilizan en su empresa, ¿Con que otro(s) tipo de herramienta(s) se puede comunicar durante el proceso de planeación de la oferta?

- ☐ Hojas de cálculo planas
- ☐ Hojas de cálculo con macros VBA
- ☐ Archivos de texto plano
- ☐ Bases de datos de la compañía
- ☐ Aplicativos desarrollados al interior de la empresa
- ☐ Aplicativos desarrollados a la medida por terceros
- ☐ Aplicativos comerciales genéricos
- ☐ Aplicativos comerciales con adecuaciones a la medida
- ☐ No se comunica con otra herramienta
- ☐ Otro:

3.8. En caso tal de haber respondido en la pregunta anterior: aplicativos comerciales, especifique su nombre.

3.9. Evalúe los siguientes aspectos de la(s) herramienta(s) de información utilizada(s) en el proceso de planeación de la oferta (producción u operaciones)

	Insuficiente	Deficiente	Aceptable	Sobresaliente	Excelente
Funcionalidad de la herramienta en el proceso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Facilidad de utilización	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Confiabilidad en los resultados arrojados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precisión en los resultado arrojados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nivel de detalle de los resultados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fomenta la comprensión y el trabajo del equipo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3.10. Si se tuviera la oportunidad de adquirir una nueva herramienta para la planeación de la oferta (producción u operaciones), ¿Qué nivel de importancia le daría a los siguientes aspectos?

	Para nada importante	Un poco importante	Importante	Muy importante	Indispensable
Funcionalidad de la herramienta en el proceso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Facilidad de utilización	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Confiabilidad en los resultados arrojados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Precisión en los resultado arrojados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nivel de detalle de los resultados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fomenta la comprensión y el trabajo del equipo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3.11. Los resultados arrojados por la(s) herramienta(s) utilizada(s) en la planeación de la oferta (producción u operaciones) son de qué tipo *

- ☐ Es una alternativa de solución construida a través de la modificación de parámetros
- ☐ Son resultados óptimos alcanzados por la programación de la herramienta
- ☐ Son resultados alcanzados por la programación de la herramienta pero no son óptimos necesariamente
- ☐ Son resultados alcanzados por la programación de la herramienta pero generalmente son modificados por el equipo de trabajo
- ☐ Otro: